



## M STER UNIVERSITARIO EN OPTOMETRÍA Y CIENCIAS DE LA VISIÓN

### TRABAJO FINAL DE M STER

---

# CARACTERIZACIÓN DE LAS MICROFLUCTUACIONES DE LA RESPUESTA ACOMODATIVA EN MIOPE

**SERGIO MARTÍN PRIETO**

DIRECTOR/A: MIREIA PACHECO I CUTILLAS  
CO-DIRECTORA: ROSA BORR S  
DEPARTAMENTO  PTICA Y OPTOMETRÍA

**JUNIO 2011**

Escola universitària d' ptica i optometria de Terrassa  
  Universitat Polit cnica de Catalunya, any 2011. Tots els drets reservats



## **MÁSTER UNIVERSITARIO EN OPTOMETRÍA Y CIENCIAS DE LA VISIÓN**

La Sra. Mireia Pacheco i Cutillas como directora del trabajo, la Sra. Rosa Borr s García, como director/a del trabajo,

### **CERTIFICAN**

Que el Sr. Sergio Martín Prieto ha realizado bajo su supervisión el trabajo "Caracterización de las microfluctuaciones de la respuesta acomodativa en miopes", que se recoge en esta memoria para optar al título de máster en Optometría y Ciencias de la Visión.

Y para que así conste, firmo/firmamos este certificado.

Sra. Mireia Pacheco i Cutillas  
Directora del trabajo

Sr./Sra. Rosa Borr s García  
Co-Directora del trabajo

**Terrassa, 7 de Junio de 2011**



## MÁSTER UNIVERSITARIO EN OPTOMETRÍA Y CIENCIAS DE LA VISIÓN

### CARACTERIZACIÓN DE LAS MICROFLUCTUACIONES DE LA RESPUESTA ACOMODATIVA EN MIOPE

#### RESUMEN

Se ha especulado que el sistema acomodativo juega un papel importante, entre otros factores, en el desarrollo de la miopía. Dentro de este sistema, la disminución en la sensibilidad a la borrosidad de los miopes hace que se produzca una variación en las microfluctuaciones de la acomodación que podría explicar en parte dicho desarrollo.

En este trabajo, se ha intentado caracterizar las microfluctuaciones de la acomodación en una población joven y universitaria, mediante un fotorrefractómetro dinámico, en distintas condiciones de estimulación. Igualmente, se han comparado los resultados obtenidos entre sujetos emétopes, miopes tempranos (EOMs) y miopes tardíos (LOMs).

Se presentaron durante 1 minuto diferentes condiciones y estímulos acomodativos a 52 estudiantes de la FOOT, midiéndoseles durante ese periodo su respuesta acomodativa. Esto nos ha permitido estudiar el efecto de la borrosidad, de la distancia, de la observación monocular y binocular y de la estimulación con lentes negativas en la respuesta acomodativa y las microfluctuaciones de la acomodación.

Los resultados muestran que la respuesta acomodativa y las microfluctuaciones de la acomodación son menos precisas cuando aumenta la demanda acomodativa, cuanto mayor es la borrosidad del estímulo, en condiciones monoculares y cuando la acomodación se estimula con lentes negativas. Resultados análogos se obtiene al estudiar los grupos refractivos pero se aprecia una tendencia a una mayor imprecisión en el grupo de los sujetos EOMs.

## **AGRADECIMIENTOS**

A mi familia por permitirme realizar este máster y animarme a seguir desde la distancia.

A mis amigos y compañeros del máster por aguantarme y apoyarme siempre.

A Rosa y Mireia por guiarme en todo momento y saberme dar todos los consejos que me han permitido realizar este trabajo.

A Nuria Lupón por su imprescindible ayuda en el tratamiento de los datos de este trabajo.

A Jaume Escofet y Miquel Ralló por ayudarme en algunos puntos que me facilitaron seguir con el trabajo.

A los alumnos que participaron de este estudio, y sin quienes no se hubiera podido llevar a cabo este estudio.

A todos ellos, Muchas gracias.

Sergio Martín Prieto

# INDICE DE CONTENIDOS

<b>1. INTRODUCCION .....</b>	<b>1</b>
<b>2. MICROFLUCTUACIONES DE LA ACOMODACIÓN.....</b>	<b>3</b>
2.1 FRECUENCIAS EN LAS MICROFLUCTUACIONES.....	3
2.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LAS MICROFLUCTUACIONES DE LA ACOMODACIÓN.....	4
2.2.1 NIVEL DE RESPUESTA ACOMODATIVA:.....	5
2.2.2 LUMINANCIA DEL ESTÍMULO: .....	5
2.2.3 TAMAÑO PUPILAR: .....	6
2.2.4 CONTRASTE DEL ESTIMULO: .....	7
2.2.5 FRECUENCIA ESPACIAL DEL ESTIMULO: .....	7
2.3 MICROFLUCTUACIONES DE LA ACOMODACIÓN SEGÚN LA EDAD .....	9
2.4 MICROFLUCTUACIONES DE LA ACOMODACIÓN SEGÚN EL GRUPO REFRACTIVO .....	10
<b>3. TEORIAS ACOMODATIVAS COMO MECANISMO DE PROGRESIÓN MIOPICA .....</b>	<b>12</b>
3.1 TEORÍAS BASADAS EN EL TONO DEL MUSCULO CILIAR .....	12
3.2 TEORIAS BASADAS EN EL RETARDO ACOMODATIVO (LAG) .....	13
3.3 TEORIAS BASADAS EN LA ADAPTACION ACOMODATIVA .....	13
<b>4. OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
4.1 OBJETIVO PRINCIPAL .....	15
4.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS .....	15
<b>5. METODO EXPERIMENTAL .....</b>	<b>16</b>
5.1 SUJETOS.....	16
5.1.1 CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN: .....	16
Tabla 1: Edades y error refractivo medios. ....	16
5.2 INSTRUMENTOS .....	17
5.2.1 FOTORREFRACTOMETRO .....	17
5.2.2 POWER-REF II (PR II, Plusoptix AG, Nürnberg, Germany; software 3.5): .....	18
5.3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.....	19
5.3.1 MONTAJE Y CONDICIONES EXPERIMENTALES .....	19
5.3.2 ESTÍMULOS Y CONDICIONES VISUALES EMPLEADAS .....	20
5.3.2.1 Tamaño del estímulo:.....	20
5.3.2.2 Contraste del estímulo: .....	20
5.3.2.3 Estímulos borrosos:.....	21
5.3.2.4 Respuesta acomodativa monocular:.....	21
5.3.3 PROTOCOLO DE MEDIDAS .....	22
<b>6. RESULTADOS .....</b>	<b>23</b>
6.1 ANALISIS ESTADISTICO .....	23
6.1.1 ANALISIS ESTADÍSTICO DE LA RESPUESTA ACOMODATIVA .....	23
6.1.1.1 Curvas estímulo respuesta: .....	23
6.1.1.2 Índice de error: .....	23
6.1.2 ANALISIS ESTADÍSTICO DE LAS MICROFLUCTUACIONES DE LA ACOMODACIÓN: .....	23
6.1.2.1 ROOT MEAN SQUARE (RMS):.....	23
6.1.2.2 ANALISIS DE LAS FRECUENCIAS DE LAS MICROFLUCTUACIONES DE LA ACOMODACIÓN: POWER DENSITY: .....	24
6.1.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y CONDICIONES ESTUDIADAS: .....	25
6.2 ANALISIS DE RESULTADOS .....	26
6.2.1 ANALISIS DE LA RESPUESTA ACOMODATIVA: .....	26
6.2.1.1 Respuesta acomodativa en función de la distancia: .....	26
a) <i>Curva estímulo respuesta.</i> .....	26
b) <i>Calculo del índice de error.</i> .....	28
6.2.1.2 Respuesta acomodativa en función de la borrosidad del estímulo: .....	29

6.2.1.3 Respuesta acomodativa en función de la estimulación monocular o binocular a 33 cm:.....	30
6.2.1.4 Respuesta acomodativa en función de la estimulación con lente negativa o con distancias:.....	32
6.2.2 ANÁLISIS DE LAS MICROFLUCTUACIONES DE LA ACOMODACION .....	34
6.2.2.1 RMS:.....	34
a) Análisis RMS en función de la distancia: .....	34
b) Análisis RMS en función de la borrosidad del estímulo: .....	36
c) Análisis RMS en función de la estimulación monocular o binocular: .....	37
d) Análisis RMS en función de la estimulación con lentes o con distancias: .....	38
6.2.2.2 ANÁLISIS DE LAS FRECUENCIAS DE LAS MICROFLUCTUACIONES DE LA ACOMODACIÓN: .....	39
a) Análisis de las frecuencias en función de la distancia: .....	40
b) Análisis de las frecuencias en función de la borrosidad: .....	43
c) Análisis de las frecuencias en función de la estimulación monocular o binocular:.....	45
d) Análisis de las frecuencias en función de la estimulación con lentes o con distancias: .....	47
6.3 RESUMEN DE RESULTADOS.....	49
<b>7. DISCUSION Y CONCLUSIONES .....</b>	<b>51</b>
<b>8. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>55</b>

## **ANEXOS**

Anexo 1: Tablas estadísticas.

Anexo 2: Hoja de resultados.

Consentimiento informado.

Tabla de horario de cita de sujetos.

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Respuesta acomodativa en un ojo joven. La línea diagonal representa la coincidencia de la cantidad de estímulo y la respuesta. ....	1
Figura 2: Ejemplo de la distribución de las frecuencias espaciales en función de la amplitud de las microfluctuaciones (D). ....	4
Figura 3: Variación en la magnitud de las microfluctuaciones en función de la cantidad de estímulo acomodativo en emétropes (EMM), miopes de aparición temprana (EOM) y miopes de aparición tardía (LOM). ....	5
Figura 4: Variación de la magnitud de las microfluctuaciones en función del diámetro pupilar ...	7
Figura 5: Variación de las frecuencias de las microfluctuaciones (LFC y HFC) de la acomodación en función de la frecuencia espacial del estímulo. ....	8
Figura 6: Representación de la variación en la magnitud de las microfluctuaciones según la edad. ....	10
Figura 7: Aumento en la magnitud de las microfluctuaciones según el grupo refractivo. ....	11
Figura 8: Valores de adaptación acomodativa en LOM (círculos) y emétropes (cuadrados) en función del tiempo desde que cesó la presencia del estímulo acomodativo. ....	14
Figura 9: Respuesta acomodativa de un sujeto en función de las distancias. Las variaciones en la respuesta acomodativa muestran las fluctuaciones que sufre la acomodación. ....	35
Figura 10: Ejemplo de las variaciones de las microfluctuaciones de la acomodación entre 0-3 Hz en un sujeto, para las distintas distancias de presentación del estímulo acomodativo. ....	43

## INDICE DE IMÁGENES

Imagen 1: Estímulos sinusoidales de frecuencias bajas (0.5 y 1 cpd) y medias (2 cpd). ....	8
Imagen 2: Reflejos pupilares obtenidos en la fotorrefracción excéntrica en miopes e hipermetropes. ....	17
Imagen 3: PowerRef II sin soporte. ....	18
Imagen 4: Montaje experimental del PR II y el autorrefractómetro Shinn-Nippon. ....	19
Imagen 5: Montaje experimental del PR II para la medida de las microfluctuaciones de la acomodación ....	20
Imagen 6: Ejemplo de optotipo utilizado en las medidas de las microfluctuaciones generado por ordenador. ....	21

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Edades y error refractivo medios. ....	16
Tabla 2: Especificaciones de las medidas con el PowerRef II.....	18
Tabla 3: Análisis descriptivo de la respuesta acomodativa media en función de la distancia....	26
Tabla 4: Análisis descriptivo de la respuesta acomodativa media en función de la distancia y el grupo refractivo.....	27
Tabla 5: Valores de regresión ( $R^2$ ), pendiente (m) e intersección con el eje y (c) de las rectas de regresión de la respuesta acomodativa en función de la distancia para cada grupo refractivo y la recta de regresión total. ....	27
Tabla 6: Análisis descriptivo del índice de error en función de la distancia de presentación del estímulo. ....	29
Tabla 7: Análisis descriptivo del índice de error en función del grupo refractivo. ....	29
Tabla 8: Respuesta acomodativa media en función del tipo de estimulación borrosa a 33 cm. 30	
Tabla 9: Análisis descriptivo de la respuesta acomodativa en función de la borrosidad del estímulo y el grupo refractivo. ....	30
Tabla 10: Análisis descriptivo de la respuesta acomodativa media en función de la estimulación monocular o binocular. ....	31
Tabla 11: Análisis descriptivo de la respuesta acomodativa media en función de la estimulación monocular o binocular y el grupo refractivo. ....	32
Tabla 12: Análisis descriptivo de la respuesta acomodativa media en función de la estimulación con lente negativa o con distancias (tabla 9 anexo 1). ....	32
Tabla 13: Análisis descriptivo de la respuesta acomodativa media para un estímulo acomodativo de 3 D, originado mediante la estimulación con lente negativa o a 33 cm (mono y binocularmente) en función del grupo refractivo. ....	33
Tabla 14: Análisis post-hoc de las diferencias estadísticas entre las distintas distancias.....	34
Tabla 15: Análisis descriptivo de la RMS en función de la distancia de observación del estímulo y el grupo refractivo. ....	35
Tabla 16: Análisis descriptivo de la RMS en función del tipo de borrosidad a 33 cm .....	36
Tabla 17: Análisis descriptivo de las RMS en función del tipo de borrosidad a 33 cm y el grupo refractivo.....	36
Tabla 18: Análisis descriptivo de la RMS en función de la estimulación monocular o binocular. ....	37
Tabla 19: Análisis descriptivo de las RMS en función de la estimulación monocular o binocular y el grupo refractivo. ....	38
Tabla 20: Análisis descriptivo de la RMS en función de la estimulación con lente negativa o con distancia. ....	38
Tabla 21: Análisis descriptivo de la RMS en función de la estimulación con lente negativa o con distancias y el grupo refractivo. ....	39
Tabla 22: Análisis descriptivo de las microfluctuaciones de la acomodación en la región LFC en función de la distancia y el grupo refractivo. ....	41
Tabla 23: Análisis post-hoc DMS que compara las significaciones estadísticas en función de la distancia. ....	41
Tabla 24: Análisis descriptivo de las microfluctuaciones de la acomodación en la región HFC en función de la distancia y el grupo refractivo. ....	42
Tabla 25: Análisis descriptivo de las microfluctuaciones de la acomodación en la región LFC en función del tipo de borrosidad a 33 cm y el grupo refractivo. ....	44
Tabla 26: Análisis descriptivo de las microfluctuaciones de la acomodación en la región HFC en función de la borrosidad a 33 cm y el grupo refractivo. ....	45
Tabla 27: Análisis descriptivo de las microfluctuaciones de la acomodación en la región LFC en función de la estimulación monocular o binocular. ....	46
Tabla 28: Análisis descriptivo de las microfluctuaciones de la acomodación en la región HFC en función de la estimulación monocular o binocular. ....	46
Tabla 29: Análisis descriptivo de las microfluctuaciones de la acomodación de la región LFC en función de la estimulación con lente negativa o con distancia. ....	47
Tabla 30: Análisis descriptivo de las microfluctuaciones de la acomodación en la región HFC en función de la estimulación con lente negativa o con distancia. ....	48



## INDICE DE GRAFICAS

Gráfica 1: Representación de la función $f(t)$ que muestra la respuesta acomodativa de un individuo a lo largo del tiempo de medida. ....	24
Gráfica 2: Representación del Power Spectrum. LFC= frecuencias comprendidas entre 0,1-0,6 Hz. HFC= frecuencias comprendidas entre 1-2,3 Hz .....	24
Gráfica 3: Respuesta acomodativa media en función de la distancia para todos los grupos ( $\pm 2$ SE).....	26
Gráfica 4: Respuesta acomodativa media en función de la distancia para cada grupo refractivo ( $\pm 2$ SE). ....	27
Gráfica 5: Regresión lineal para cada grupo refractivo en función de la distancia de presentación del estímulo. ....	28
Gráfica 6: Índice de error en función de la distancia de presentación del estímulo y el grupo refractivo ( $\pm 2$ SE).....	28
Gráfica 7: Respuesta acomodativa media en función del tipo de estimulación borrosa a 33 cm ( $\pm 2$ SE). ....	29
Gráfica 8: Respuesta acomodativa media en función de la borrosidad del estímulo y el grupo refractivo ( $\pm 2$ SE).....	30
Gráfica 9: Respuesta acomodativa media en función de la estimulación monocular o binocular ( $\pm 2$ SE).....	31
Gráfica 10: Respuesta acomodativa media en función de la estimulación monocular o binocular y el grupo refractivo ( $\pm 2$ SE).....	31
Gráfica 11: Respuesta acomodativa media en función de la estimulación con lente negativa de -3 D o con distancia (33cm) ( $\pm 2$ SE). ....	32
Gráfica 12: Respuesta acomodativa media en función de la estimulación con lente negativa o con distancia y el grupo refractivo ( $\pm 2$ SE). ....	33
Gráfica 13: Valor de RMS en función de la distancia y el grupo refractivo ( $\pm 2$ SE). ....	34
Gráfica 14: Valor RMS en función del tipo de borrosidad a 33 cm ( $\pm 2$ SE).....	36
Gráfica 15: RMS en función de la borrosidad del estímulo y del grupo refractivo ( $\pm 2$ SE).....	37
Gráfica 16: RMS en función de la estimulación monocular o binocular ( $\pm 2$ SE). ....	37
Gráfica 17: RMS en función de la estimulación monocular o binocular y el grupo refractivo.....	38
Gráfica 18: RMS en función de la estimulación con lente negativa o con distancia (33cm) ( $\pm 2$ SE).....	39
Gráfica 19: RMS en función de la estimulación acomodativa con o sin lentes negativas y el grupo refractivo ( $\pm 2$ SE).....	39
Gráfica 20: Microfluctuaciones de la acomodación de la región LFC en función de la distancia y el grupo refractivo ( $\pm 2$ SE). ....	40
Gráfica 21: Microfluctuaciones de la acomodación en la región HFC en función de la distancia y el grupo refractivo ( $\pm 2$ SE).....	41
Gráfica 22: Microfluctuaciones de la acomodación en la región LFC en función del tipo de borrosidad a 33 cm y el grupo refractivo ( $\pm 2$ SE) .....	44
Gráfica 23: Microfluctuaciones de la acomodación en la región HFC en función del tipo de borrosidad a 33 cm y el grupo refractivo ( $\pm 2$ SE).....	45
Gráfica 24: Microfluctuaciones de la acomodación en la región LFC en función de la estimulación monocular o binocular y el grupo refractivo ( $\pm 2$ SE).....	46
Gráfica 25: Microfluctuaciones de la acomodación en función de la estimulación monocular o binocular en la región HFC a 33 cm y el grupo refractivo ( $\pm 2$ SE).....	47
Gráfica 26: Microfluctuaciones de la acomodación en la región LFC en función de la estimulación con lente negativa o con distancia y el grupo refractivo. ....	48

# 1. INTRODUCCION

Clásicamente se ha considerado que la acomodación se encuentra en reposo cuando observamos un estímulo lejano y que, cuando el estímulo se acerca, la borrosidad activa la innervación del músculo ciliar, produciendo una respuesta en éste que desencadena el proceso acomodativo. Sin embargo, hoy en día se considera que la acomodación se ejerce en ambas direcciones partiendo de un estado intermedio de reposo que viene determinado por el tono del músculo ciliar. De esta manera, se considera que la función acomodativa es un proceso de ahorro, ya que varía su estado de reposo sólo en la medida necesaria para proporcionar una visión satisfactoria.

La acomodación se encuentra mediada por la estimulación parasimpática del músculo ciliar bajo la innervación del tercer par craneal. En ausencia de estímulo visual, existe una actividad neuronal reducida que da lugar al estado de tonicidad del músculo ciliar. Se considera que existe un estado de equilibrio entre el sistema parasimpático que estimula la acción del músculo ciliar y el sistema simpático que la inhibe. De esta manera, por debajo del estado de reposo, la inhibición es la acción principal llevada a cabo por el sistema simpático, lo que conlleva una relajación del músculo ciliar.

Cuando se rompe este estado de equilibrio en alguna de las dos direcciones, el estímulo debe estar presente al menos 1 segundo para que se produzca una respuesta completa del sistema acomodativo (Bennett, A G., Rabbets, R B. 1998). La respuesta acomodativa se produce como respuesta ante la borrosidad que se genera cuando el estímulo se acerca al sistema visual. Sin embargo, la respuesta no es tan exacta como cabría esperar. Normalmente, la respuesta conlleva una hiperacomodación en visión lejana (donde la respuesta acomodativa no debería existir) y una hipoacomodación en visión próxima (lag o retardo acomodativo) (figura 1). Por otro lado, se ha demostrado que la respuesta acomodativa no permanece constante cuando se observa un estímulo fijo, sino que se producen variaciones o fluctuaciones de la misma de mayor o menor tamaño.

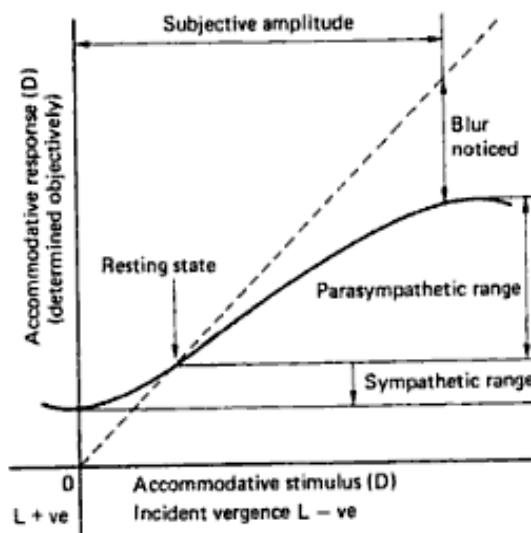


Figura 1: Respuesta acomodativa en un ojo joven. La línea diagonal representa la coincidencia de la cantidad de estímulo y la respuesta. Se puede observar como por debajo del estado de reposo (restinga state) la innervación del músculo ciliar la lleva a cabo el sistema simpático, y por encima de este estado de reposo, la innervación es realizada por el sistema parasimpático. Se puede comprobar igualmente como en visión lejana (en contra de lo que cabría esperar) existe cierta respuesta acomodativa. Extraído de (Rabbets 2007)

Una vez esta respuesta se desencadena, es fundamental que se mantenga de una manera eficiente, pues en nuestra vida diaria, necesitamos poder desarrollar tareas continuadas en visión próxima. El sistema acomodativo utiliza estas "inexactitudes" en su respuesta (microfluctuaciones o retardo acomodativo) para poder mantenerla con comodidad.

El examen de la respuesta acomodativa es un aspecto fundamental a la hora de detectar posibles alteraciones visuales. Sin embargo, las pruebas que se realizan en el gabinete en la práctica clínica diaria, determinan la acomodación estática, un aspecto que si bien tiene una importancia capital, no responde a la situación real a la que nos enfrentamos en visión próxima. El trabajo en visión próxima es un trabajo prolongado que engloba además de los aspectos estáticos, aspectos dinámicos de la acomodación. La aparición de instrumentación capaz de recoger las variaciones de la acomodación a lo largo del tiempo, han permitido observar el comportamiento de los distintos componentes de la acomodación dinámica: microfluctuaciones, latencia, constancia de tiempo, y la relación entre el pico velocidad/amplitud de acomodación.

Diversos estudios a lo largo de la historia, han mostrado diferencias en la respuesta acomodativa en función del error refractivo. Esto ha propiciado el estudio de diferentes aspectos del sistema acomodativo (retardo acomodativo, microfluctuaciones, tono del músculo ciliar, etc.) como posibles mecanismos que expliquen su correlación con el desarrollo de unos defectos refractivos u otros.

## 2. MICROFLUCTUACIONES DE LA ACOMODACIÓN

Cuando mantenemos la visión en un estímulo fijo, el sistema acomodativo experimenta variaciones temporales intrínsecas, denominadas microfluctuaciones (ALPERN 1958, CAMPBELL et al. 1959, Charman et al. 1988, Winn et al. 1990). Las microfluctuaciones causan pequeños y rápidos cambios en el desenfoque retiniano que son detectados por el componente sensorial del sistema de control acomodativo y proporciona información de retroalimentación negativa para mantener el nivel de respuesta acomodativa (Day et al. 2006, Yao et al. 2010). Se ha sugerido que estas pequeñas variaciones se encuentran en un rango de alrededor de 0.50 D (CAMPBELL et al. 1959, Charman et al. 1988, Winn et al. 1990, Denieul 1982, Kotulak et al. 1986a) encontrándose los mayores valores cuando la demanda acomodativa es mayor (Harb et al. 2006, Kotulak et al. 1986b).

### 2.1 FRECUENCIAS EN LAS MICROFLUCTUACIONES

Las características temporales de las microfluctuaciones fueron descritas en detalle, por primera vez, usando el análisis de Fourier a finales de los años 50 (CAMPBELL et al. 1959). Se identificaron entonces dos regiones distintas en el comportamiento de las microfluctuaciones que se dividían en la región de los componentes de las altas frecuencias (high frequency component: HFC) y la región de los componentes de las bajas frecuencias (low frequency component: LFC) (figura 2). Estas regiones se caracterizan porque en cada una de ellas, se produce un pico máximo de fluctuación en la acomodación:

- Región de microfluctuaciones de bajas frecuencias (LFC):

Según la literatura existente, se considera que las microfluctuaciones tienen un patrón comportamental similar en frecuencias situadas por debajo de 0.6 Hz, que se considera la región de las frecuencias bajas (Winn et al. 1990, Harb et al. 2006, Kotulak et al. 1986b, Seidel et al. 2003).

El pico máximo en esta región, tiene su origen en la variación de las superficies del cristalino durante la acomodación. Según (van der Heijde et al. 1996) debido a la variación en el espesor de la cámara anterior, espesor del cristalino y humor vítreo, se genera un pico de microfluctuación máxima en la región LFC, y no así en HFC. Esto indica que es la variación en las distintas superficies del cristalino la que hace que se genere ese pico en la región de las bajas frecuencias.

Parece existir también una relación directa entre la respiración y LFC. El pico de máxima amplitud del ciclo de respiración arrítmica y el de microfluctuación máxima dentro de LFC tienen una frecuencia muy similar, y muestran correlación (Collins et al. 1995).

- Región de microfluctuaciones de altas frecuencias (HFC):

En esta región se encontrarían las microfluctuaciones situadas entre 1-2.3 Hz (Winn et al. 1990, Day et al. 2006, Harb et al. 2006, Seidel et al. 2003, van der Heijde et al. 1996, Schultz et al. 2009).

El origen de estas microfluctuaciones de alta frecuencia, se pensó en un principio que podía deberse a la variación en las propiedades mecánicas y elásticas de la región periférica del cristalino y su estructura de apoyo en el iris (Charman et al. 1988, Kotulak et al. 1986a), sin embargo un estudio llevado a cabo por Winn et al. (1990) (Winn et al. 1990) muestra que las variaciones de las microfluctuaciones eran similares en el centro y la periferia del cristalino. Además, señalaron que tanto la zona central como periférica del cristalino actúan en las microfluctuaciones de la región HFC. Por ello, se investigó si el comportamiento de las microfluctuaciones en estas frecuencias altas, se asocian con otros sistemas fisiológicos que puedan proporcionar una variación rítmica intraocular.

La presión intraocular presenta una correlación significativa con la presión sistólica y diastólica (Klein et al. 2005) y más concretamente con el pulso arterial (Buchanan et al. 1985). En el estudio llevado a cabo por Winn et al. (1990) se propuso una correlación positiva significativa entre el pulso arterial y el HFC (Winn et al. 1990a). Según estos

autores, el pico de pulso arterial máximo y el pico de máxima variación de la fluctuación en HFC presentan una frecuencia muy similar, o lo que es lo mismo, existiría una relación muy estrecha entre ambas.

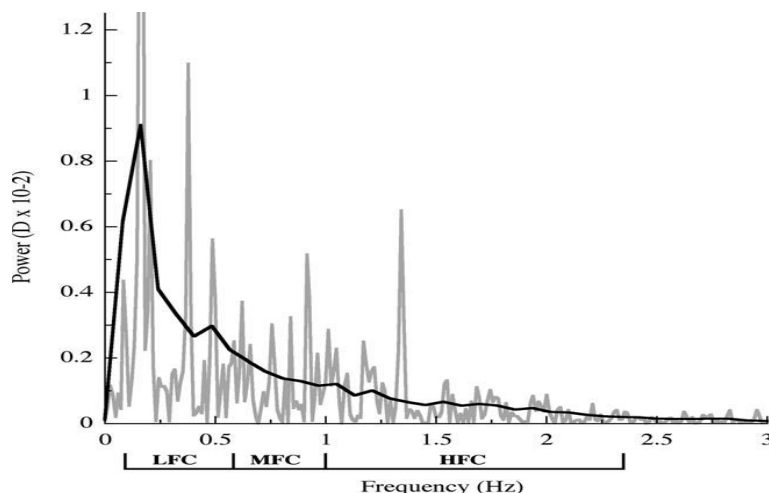


Figura 2: Ejemplo de la distribución de las frecuencias espaciales en función de la amplitud de las microfluctuaciones (D). *Extraído de* (Harb et al. 2006).

Existe también una región de frecuencias medias (MFC) (figura 2) situada entre 0.61-0.99 Hz (Harb et al. 2006), que no presenta un patrón distinguible, es decir, no existe un pico máximo en las microfluctuaciones de esta región.

## 2.2 FACTORES QUE INFLUYEN EN LAS MICROFLUCTUACIONES DE LA ACOMODACIÓN

Se ha demostrado que el desenfoque retiniano actúa como una señal que influye en diversos procesos visuales como la percepción de profundidad, el proceso de emetropización del ojo o la respuesta acomodativa (Yao et al. 2010). El sistema visual puede tolerar una cierta cantidad de desenfoque sin que detecte borrosidad (Legge et al. 1987). El valor de borrosidad ha sido denominado como umbral de borrosidad, umbral de la detección borrosa (Schmid et al. 2002) o profundidad de foco (depth of focus: DOF) (Grusso 2007) según diferentes autores, pero basado en el mismo concepto. Dicho umbral se ha definido como la menor cantidad de desenfoque de la imagen retiniana que puede causar un deterioro perceptible en su calidad. Este desenfoque o borrosidad, es la señal de error que usa el sistema acomodativo, es decir, que su componente sensorial la detecta para posteriormente producir la respuesta acomodativa (Hung et al. 1980, Jiang 1997a).

Existen muchos factores que influyen en el umbral de borrosidad o profundidad de foco (Wang et al. 2006). Son especialmente relevantes para el presente estudio el contraste, la luminancia, la frecuencia espacial del estímulo y el tamaño pupilar, puesto que también afectan a las microfluctuaciones de la acomodación objeto de este estudio.

La amplitud de las microfluctuaciones es aproximadamente de la misma magnitud que la profundidad de foco. Esto permite al sistema acomodativo iniciar una respuesta antes de que el objeto se convierta en perceptualmente borroso (aunque neuralmente ya lo sea). Por lo tanto, la magnitud de las microfluctuaciones tiende a aumentar bajo las mismas condiciones que lo hace la profundidad de foco (Seidel et al. 2003).

### 2.2.1 NIVEL DE RESPUESTA ACOMODATIVA:

Otro factor esencial que influye en las microfluctuaciones es el nivel de la respuesta acomodativa, presentándose una relación directa entre ambas.

Existe un aumento significativo en la magnitud de las microfluctuaciones de la acomodación cuando aumenta el nivel de respuesta acomodativa (Day et al. 2006). (Kotulak et al. 1986b, Stark et al. 1997) ya demostraron la relación lineal entre ambas encontrándose que las microfluctuaciones más pequeñas ocurrían en los niveles más bajos de acomodación. Según señalaron dichos autores, la reducción en la tensión zonular sobre el músculo ciliar con el aumento del esfuerzo acomodativo, permite una mayor libertad de movimiento del cristalino. Esto hace, que la magnitud de las microfluctuaciones aumente.

La discusión surge cuando se plantea si ese aumento viene determinado por el ruido que se puede atribuir a la acción del músculo ciliar o como respuesta a cambios sistemáticos en la respuesta inervacional. Si bien esta pregunta permanece sin respuesta, existen evidencias y modelos experimentales que apoyan esta última afirmación (CAMPBELL et al. 1959, Charman et al. 1988, Yao et al. 2010, Seidel et al. 2003, Stark et al. 1997).

Según señalan los distintos estudios, el aumento de la magnitud de las microfluctuaciones al aumentar la respuesta acomodativa, se produce para todas las frecuencias (Day et al. 2006, Harb et al. 2006, Kotulak et al. 1986b, Toshida et al. 1998). Esto puede estar influenciado por el aumento que se produce, sobre todo, en la región LFC (Day et al. 2006) que es la región que parece encargarse del proceso de control de la acomodación. El comportamiento parece ser ligeramente distinto entre las HFC y las LFC. En visión lejana, la amplitud de las microfluctuaciones es mínima en ambas, sin embargo, al acercar el estímulo se produce un incremento significativo de la magnitud de las microfluctuaciones en las LFC (figura 3 a) y por el contrario, el aumento en HFC (figura 3 b) es más suave:

- El pico de máxima amplitud en las HFC se encuentra cuando el estímulo acomodativo está entre -3.00 y -5.00 D (Toshida et al. 1998)(Schultz et al. 2009). Concretamente, (Toshida et al. 1998) sugiere que dicho pico se sitúa cuando el estímulo es de -4 D, empezando a disminuir lentamente la magnitud de las microfluctuaciones en dicha región a partir de aquí.
- Las microfluctuaciones dentro de la región LFC parecen mostrar un pico máximo también a -4D (van der Heijde et al. 1996), aunque no queda claro hasta que punto esto se debe al aumento del nivel de la respuesta acomodativa o a la disminución del tamaño pupilar.

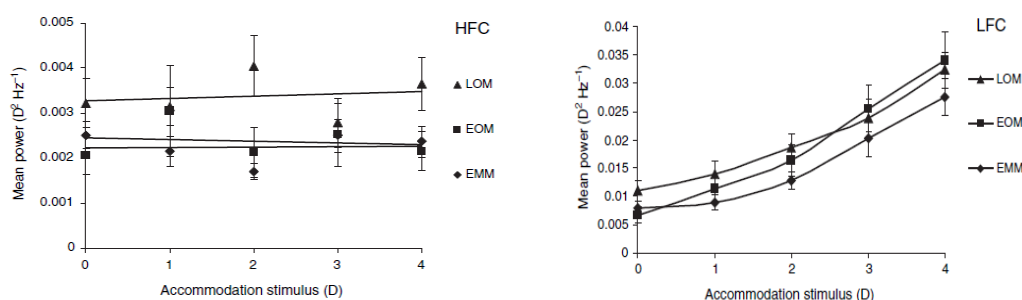


Figura 3: Variación en la magnitud de las microfluctuaciones en función de la cantidad de estímulo acomodativo en emétopes (EMM), miopes de aparición temprana (EOM) y miopes de aparición tardía (LOM). a) variación en la región de frecuencias altas (HFC). b) variación en la región de frecuencias bajas (LFC). Figuras extraídas de (Day et al. 2006).

### 2.2.2 LUMINANCIA DEL ESTÍMULO:

La luminancia es una medida fotométrica que determina la cantidad de luz que es emitida por un objeto. La profundidad de foco disminuye cuando lo hace la luminancia del estímulo (Wang et al. 2006). Esto concuerda con el hecho de que la sensibilidad a la borrosidad disminuye por

la noche. A este factor se le atribuye la disminución de la agudeza visual, la reducción en la eficacia de los conos que participan en la detección del desenfoque y la pérdida de los elementos de frecuencias espaciales altas en la imagen retiniana en condiciones de baja iluminación.

Al igual que ocurre con las funciones visuales señaladas, el sistema acomodativo en general y las microfluctuaciones en particular, también sufren modificaciones ante la variación en la luminancia del estímulo. El nivel mínimo de luminancia que debe presentar un estímulo acomodativo para desencadenar la respuesta acomodativa, es de  $0.002 \text{ cd/m}^2$  (CAMPBELL 1954). Además, una vez la luminancia del estímulo se acerca a las  $0.051 \text{ cd/m}^2$ , la respuesta acomodativa no varía, permanece constante (Johnson 1976).

Gray et al. (1993) estudiaron directamente las variaciones que sufrían las microfluctuaciones en función de la luminancia (Gray et al. 1993b). En primer lugar, comprobaron midiendo la respuesta estática de la acomodación, que efectivamente los valores encontrados por Campbell y Johnson eran los necesarios para desencadenar una respuesta acomodativa y para lograr una constancia en la respuesta acomodativa respectivamente. Tras ello, analizaron el comportamiento dinámico de la acomodación a cuatro niveles de luminancia:  $0.002$ ,  $0.004$ ,  $0.010$  y  $11.63 \text{ cd/m}^2$ . En el nivel máximo de luminancia, la magnitud de las microfluctuaciones era similar a la obtenida en otras condiciones de iluminación superiores. Donde sí se encontraban diferencias significativas era al analizar los resultados obtenidos en las luminancias mas bajas:

- En los tres niveles menores de luminancia, se experimentaba un aumento significativo en la magnitud de las microfluctuaciones.
- El aumento, era significativamente mayor ( $p= 0.0001$ ) en el nivel mínimo de luminancia ( $0.002 \text{ cd/m}^2$ ). Así (Day et al. 2009b) refrendaron estos valores y además indicaron, que la magnitud se mantiene constante desde las 600 hasta las  $0.2 \text{ cd/m}^2$ .
- Para los tres niveles de luminancia baja, el pico de microfluctuación máxima en la región de las bajas frecuencias (LFC) sufría un aumento muy significativo.
- Por el contrario, el pico máximo en la región HFC, sufría una variación mínima.

Ante estos hallazgos, Gray et al. (1993) señalaron que el incremento en la magnitud de las microfluctuaciones de la acomodación en los niveles más bajos de luminancia del estímulo, pueden ser atribuidos a los cambios en la magnitud de las microfluctuaciones la región LFC, y no así en la región HFC.

Es necesario señalar, la relación íntima que existe entre la luz que es emitida desde el estímulo de fijación y la respuesta fisiológica que provoca (por ejemplo la variación del diámetro pupilar). Los resultados obtenidos en este estudio muestran un aumento similar en la magnitud de las microfluctuaciones en la región de las LFC, al encontrado por (Gray et al. 1993a)) cuando el tamaño pupilar es de  $2 \text{ mm}$  (a través de un modelo artificial).

### 2.2.3 TAMAÑO PUPILAR:

La pupila es el diafragma de apertura del sistema óptico ocular. Los cambios en su tamaño afectan a la cantidad de luz que entra en el ojo, la magnitud de las aberraciones y la profundidad de foco (mayor cuanto menor es el tamaño pupilar) (Wang et al. 2006). Cuando el tamaño pupilar decrece, la profundidad de foco aumenta, y el círculo de mínima borrosidad del ojo disminuye su tamaño por debajo del umbral de percepción de la borrosidad. Esto hace que la imagen retiniana se perciba con mayor nitidez (Wang et al. 2006).

Como ya se ha señalado, la cantidad de luz que llega al ojo y el tamaño pupilar, están íntimamente relacionados. Para aislar estas dos variables, todos los estudios llevados a cabo en ese campo se realizan con pupilas artificiales (una vez se ha instilado midriático para aumentar el diámetro pupilar por encima de  $5\text{-}6 \text{ mm}$ ) y bajo las mismas condiciones de iluminación con todos los diámetros estudiados.

Gray et al. (1993) comprobaron la variación de las microfluctuaciones de la acomodación para diferentes tamaños de pupilas artificiales de ( $0.5$ ,  $1$ ,  $2$ ,  $3,4$  y  $5 \text{ mm}$ ) manteniendo el estímulo



acomodativo siempre a la misma distancia (Gray et al. 1993a). Los resultados obtenidos mostraron un aumento significativo en la magnitud de las microfluctuaciones en bajas frecuencias (LFC) en pupilas inferiores a 2 mm (figura 4). Este aumento era aún mayor cuanto menor era el diámetro pupilar. Con pupilas de tamaño superior a esos 2 mm, las microfluctuaciones se mantuvieron estables en la región LFC. Al observar los resultados obtenidos en la región de las altas frecuencias (HFC), se comprobó que no existían cambios sistemáticos al variar el diámetro pupilar.

Stark et al. (1997) hicieron la misma comprobación (diámetros pupilares desde 1 a 6 mm) para dos estímulos acomodativos distintos (1.5 y 3 D) (Stark et al. 1997). En sus resultados encontraron también un aumento de la magnitud de las microfluctuaciones en la región LFC con las pupilas más pequeñas, así como estabilidad con pupilas de mayor diámetro. En la región HFC no se observaba ninguna variación. El aspecto más destacado del estudio fue mostrar que las variaciones en las magnitudes de las microfluctuaciones para los distintos diámetros pupilares, era similar ante ambos estímulos acomodativos.

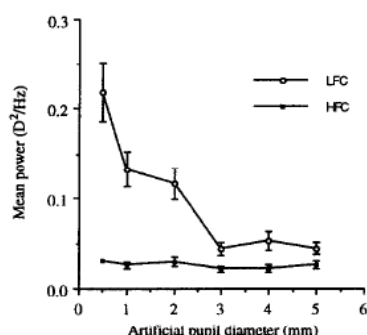


Figura 4: Variación de la magnitud de las microfluctuaciones en función del diámetro pupilar. *Figura extraída de (Gray et al. 1993a).*

De todos estos trabajos, se puede resumir:

- El incremento en las microfluctuaciones de las LFC con pupilas más pequeñas, es consistente con la hipótesis de que esta región está directamente involucrada en el control del proceso acomodativo. (Stark et al. 1997, Gray et al. 1993a).
- La magnitud de las microfluctuaciones en la región HFC es independiente del diámetro pupilar.
- La variación del diámetro pupilar y de la magnitud de estímulo acomodativo, producen variación en la magnitud de las microfluctuaciones pero de una manera independiente (Stark et al. 1997).
- La mejora de la calidad de la imagen cuando disminuye el diámetro pupilar hace más complejo detectar la borrosidad al sistema acomodativo. Ante esa complejidad, la magnitud de las microfluctuaciones aumenta para producir un cambio detectable en el sistema de control de la acomodación (Day et al. 2009a).

#### 2.2.4 CONTRASTE DEL ESTIMULO:

El contraste se define como la razón entre el nivel máximo y mínimo de luminancia de un patrón visual. Matemáticamente, se define de la siguiente manera:

$$\frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max} + L_{\min}} \times 100$$

En niveles de contraste bajos, se experimenta un aumento leve y variable de la profundidad de foco que puede deberse a la reducción de la AV y a la ineficacia del sistema de conos para guiar al sistema acomodativo (Wang et al. 2006). Ese aumento en la profundidad de foco hace pensar en una posible variación de las microfluctuaciones de la acomodación en función del contraste.

Según Denieul et al. (1994), a medida que disminuye el contraste del estímulo, la magnitud de las microfluctuaciones aumenta pero sólo para la región LFC, permaneciendo la región HFC en valores constantes (Denieul et al. 1994).

#### 2.2.5 FRECUENCIA ESPACIAL DEL ESTIMULO:

La frecuencia espacial es el número de ciclos de cambio de luminancia en la rejilla sinusoidal por grado de ángulo visual en una rejilla sinusoidal (imagen 1). Está íntimamente relacionado



con el detalle del estímulo, que se refiere al ángulo que subtiende el mínimo detalle del estímulo. La relación entre ambos es inversa, de tal forma que cuando el mínimo detalle del estímulo aumenta de tamaño, la frecuencia espacial disminuye (Wang et al. 2006).

Los estudios llevados a cabo para comprobar la influencia de la frecuencia espacial, utilizan estímulos sinusoidales de contrastes altos (imagen 1) y frecuencias comprendidas entre 0.5-16 ciclos por grado (cpd) (Toshida et al. 1998, Day et al. 2009a).

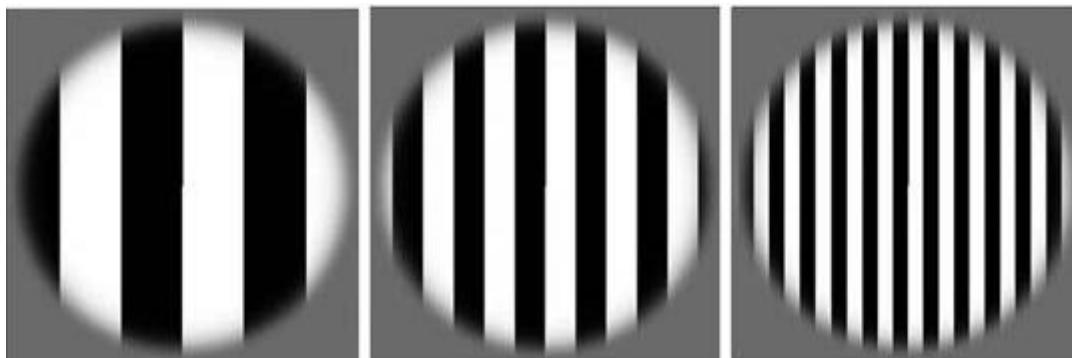


Imagen 1: Estímulos sinusoidales de frecuencias bajas (0.5 y 1 cpd) y medias (2 cpd). *Extraído de* (Day et al. 2009a)

Los resultados obtenidos en los estudios de (Toshida et al. 1998, Day et al. 2009a) mostraron que:

- Las microfluctuaciones eran mayores en frecuencias espaciales altas y bajas del estímulo. Concretamente, (Day et al. 2009a) obtuvieron la mayor magnitud en las microfluctuaciones para las frecuencias extremas medidas, es decir, en 0.5 y 16 cpd.
- Las microfluctuaciones eran menores en las frecuencias intermedias, entre 2 y 4 cpd (Day et al. 2009a) y la mínima fue encontrada en 3.7 cpd (Toshida et al. 1998).
- Al realizar el análisis de las microfluctuaciones en función de las frecuencias espaciales de las microfluctuaciones se comprobó que la región LFC mostraba un aumento significativo en la magnitud de las microfluctuaciones, mientras que la región HFC permanecía constante en todas las frecuencias del estímulo (Toshida et al. 1998, Day et al. 2009a)(figura 5).

Los resultados de estos estudios (Toshida et al. 1998, Day et al. 2009a) sugieren que para frecuencias espaciales medias del estímulo, el umbral de sensibilidad a la borrosidad es máximo, es decir, la borrosidad se detecta fácilmente. A su vez esto implica mínimas variaciones en las microfluctuaciones para que el sistema de control acomodativo mantenga la respuesta acomodativa. Sin embargo, son necesarios grandes desenfoques en las regiones de frecuencias espaciales altas y bajas para que el sistema acomodativo los detecte. Al ser este desenfoque mayor, las microfluctuaciones necesarias para producir un cambio detectable en el sistema acomodativo son también mayores (Toshida et al. 1998, Day et al. 2009a)

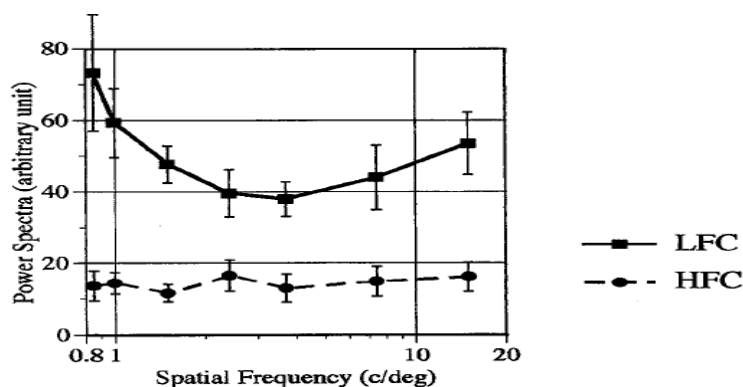


Figura 5: Variación de las frecuencias de las microfluctuaciones (LFC y HFC) de la acomodación en función de la frecuencia espacial del estímulo. *Extraído de* (Toshida et al. 1998)

Según diferentes autores (Harb et al. 2006, Seidel et al. 2003, Stark et al. 1997, Toshida et al. 1998, Gray et al. 1993b, Day et al. 2009b, Gray et al. 1993a, Day et al. 2009a, Day et al. 2009a) el aumento significativo en la magnitud de las microfluctuaciones que parece experimentar el componente de baja frecuencia (LFC), reafirma la idea de que LFC están directamente involucradas en el control del sistema acomodativo, es decir, que tienen un componente neurológico.

Por otro lado, la estabilidad que parecen presentar las microfluctuaciones en la región HFC en función de los distintos factores hasta aquí estudiados, indica que estas podrían estar más relacionadas con la variación fisiológica rítmica de los componentes que varían su forma en concordancia con el pulso cardíaco, como es el cristalino (Harb et al. 2006, Seidel et al. 2003, Stark et al. 1997, Gray et al. 1993b, Gray et al. 1993a, Day et al. 2009a, Day et al. 2009a, Mordi et al. 2004).

## 2.3 MICROFLUCTUACIONES DE LA ACOMODACIÓN SEGÚN LA EDAD

La mayoría de los estudios llevados a cabo sobre las microfluctuaciones de la acomodación se realizan en pacientes jóvenes. Esto permite eliminar el problema que surge ante la disminución de las capacidades acomodativas del músculo ciliar y del cristalino. Sin embargo, el estudio de la variación de las fluctuaciones con la edad, nos puede ayudar a determinar el origen de las mismas en las regiones LFC y HFC. Diversos estudios muestran las diferencias existentes entre los grupos de edades comprendidos desde los 3 años hasta los 50, encontrándose diferencias estadísticamente significativas.

(Mordi et al. 2004) realizaron un estudio con 30 sujetos con edades comprendidas entre los 21-50 años. Encontraron que, ante el mismo estímulo, a medida que aumentaba la edad, las microfluctuaciones de la acomodación eran menores en todas las frecuencias. Esta disminución con la edad, era más acusada en la región de las altas frecuencias (HFC) mientras que en las LFC la disminución era mucho más atenuada (figura 6).

A su vez, Toshida et al. (1998) encontraron resultados similares en pacientes de edades comprendidas entre 23-46 años (Toshida et al. 1998). Igualmente, las mayores disminuciones en la magnitud de las microfluctuaciones se producían en la región HFC. Estos autores, señalaron además que los sujetos que tenían más de 40 años experimentaban fluctuaciones mínimas en la región HFC con distintos estímulos.

Anderson et al. (2010) realizaron un estudio con pacientes de menor edad. Compararon pacientes con edades comprendidas entre los 3 y 48 años (Anderson et al. 2010). Encontraron que las mayores fluctuaciones las presentaban los pacientes en la primera década de la vida. En las dos décadas siguientes, estas magnitudes disminuían. Por último, y en contra de lo que se había observado en los estudios anteriores, en la cuarta década de vida se experimentaba un nuevo aumento de la magnitud de las microfluctuaciones. Los autores señalan que esto puede deberse a la juventud de los pacientes de mayor edad del estudio, o bien a la diferencia en la magnitud de la demanda acomodativa estudiada con respecto al resto de estudios, ya que únicamente realizaban medidas con una demanda acomodativa de 2 D.

Los diversos autores señalan a las propiedades del cristalino como causantes de la disminución de la magnitud de las microfluctuaciones con la edad:

- Los valores más elevados observados en niños mas pequeños, pueden deberse a la mayor plasticidad de su cristalino. Esto hace que sean mas susceptibles a pequeños cambios en el músculo ciliar y por lo tanto, fluctúan con mayor magnitud (Candy et al. 2007).
- La disminución en la magnitud de las microfluctuaciones de la acomodación con la edad se deben a la reducción de las propiedades biomecánicas del cristalino (Mordi et al. 2004). Concretamente, la mayor disminución de la magnitud de las microfluctuaciones en la región HFC con la edad, sugiere una estrecha relación entre éstas y la reducción de las funciones fisiológicas del cristalino (Toshida et al. 1998).

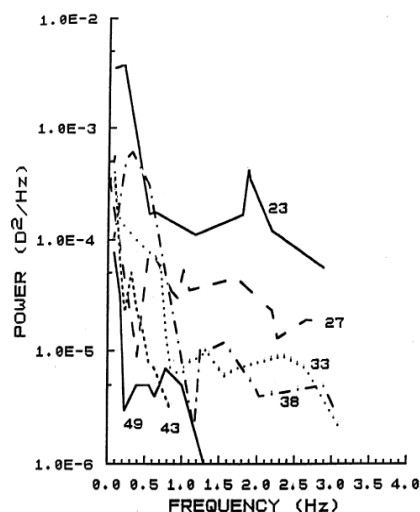


Figura 6: Representación de la variación en la magnitud de las microfluctuaciones según la edad. Para ello, se ha tomado un paciente representativo de cada rango de edad. El estímulo al que están sometidos todos es de 2 dioptrías. *Extraído de (Mordi et al. 2004).*

## 2.4 MICROFLUCTUACIONES DE LA ACOMODACIÓN SEGÚN EL GRUPO REFRACTIVO

Se ha sugerido que los miopes tienen un umbral elevado para la detección de la borrosidad (Rosenfield et al. 1999) y concretamente una sensibilidad reducida al desenfoque retiniano hipermetrópico que se desencadena al acercar un objeto (Radhakrishnan et al. 2004). Estas afirmaciones hacen pensar que pueden existir diferencias en la magnitud de las microfluctuaciones de la acomodación en función del error refractivo.

Algunos autores han encontrado diferencias en la magnitud de las microfluctuaciones al comparar miopes y emétopes (Harb et al. 2006). Para indagar más en el origen de estas diferencias, algunos estudios han diferenciado a los sujetos miopes según la edad de aparición de su miopía: miopes de desarrollo temprano (early onset miopía: EOM) ( $\leq 15$  años) y los miopes de desarrollo tardío (late onset miopía: LOM) ( $> 15$  años) (Grosvenor et al. 1999). Se realiza esta diferenciación ya que se considera que en EOM predominan los factores genéticos, y en cambio, en los LOM la aparición y progresión de la miopía se desencadena principalmente por factores del entorno (Seidel et al. 2005).

Seidel et al. (2003) encontraron que para una misma demanda acomodativa, la magnitud de las microfluctuaciones era significativamente mayor en sujetos LOMs con que en EOMs (Seidel et al. 2003). Por otra parte, Day et al. (2006) al analizar el comportamiento de las dos regiones de frecuencias de las microfluctuaciones de la acomodación (LFC y HFC), observaron que en la región LFC se producía un aumento significativo de la magnitud para los tres grupos (EMM, EOM y LOM) cuando la demanda acomodativa era mayor. Sin embargo, al analizar la región HFC, aunque la magnitud no parecía aumentar con la demanda acomodativa, sí era mayor en los sujetos LOMs (Day et al. 2006).

Según estos estudios, el aumento en la magnitud de las microfluctuaciones se produce principalmente en la región de las bajas frecuencias (LFC) (figura 7). Según Harb et al. (2006) esto puede deberse a que existe un aumento en la profundidad de foco en miopes, posiblemente por las mayores aberraciones que presentan, lo que causaría la reducción en la detección de la borrosidad, y por lo tanto, un incremento en la variabilidad acomodativa (microfluctuaciones). Sin embargo, Day et al. (2006) aunque recogen esta misma idea, señalan que existen datos contradictorios sobre si realmente existe una diferencia significativa en ciertas aberraciones entre miopes y emétopes que expliquen ese aumento en la magnitud de las microfluctuaciones. Aún así, dichos autores coinciden en apuntar a la disminución en la sensibilidad de la borrosidad que experimentan los miopes como causa del aumento en las microfluctuaciones. Concretamente, el aumento en el umbral de borrosidad es más significativo

en LOMs (Day et al. 2006) que en los otros dos grupos. Por otra parte, el aumento en la profundidad de foco también es mayor en LOMs, lo que hace que estos sujetos requieran mayores microfluctuaciones para guiar su respuesta acomodativa (Seidel et al. 2003).

Por todo ello, podemos apuntar al aumento en la magnitud de las microfluctuaciones como un factor que puede jugar un papel en el desarrollo de la miopía (Day et al. 2006, Seidel et al. 2003).

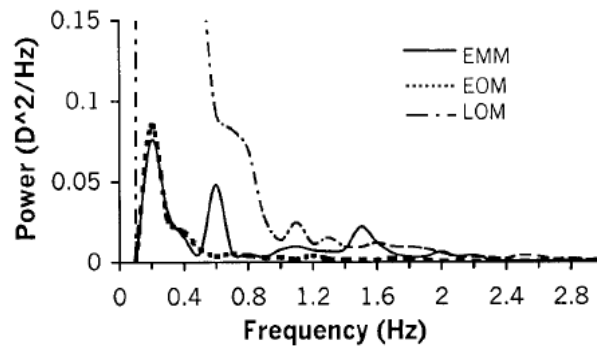


Figura 7: Aumento en la magnitud de las microfluctuaciones según el grupo refractivo. Se observa un aumento muy significativo en la región de las LFC y en el grupo de miopes tardíos (LOM). *Extraído de* (Seidel et al. 2003).

### 3. TEORIAS ACOMODATIVAS COMO MECANISMO DE PROGRESIÓN MIOPIA

La determinación de la prevalencia de la miopía se hace muy compleja debido a las variaciones geográficas, la propia definición de miopía, la edad del grupo de estudio, etc. (Saw et al. 1996). El Beaver Dam study llevado a cabo en EE.UU (Wang et al. 1994), mostró una prevalencia del 26.2% para adultos mayores de 43 años, sin embargo, estos datos aumentan notablemente en poblaciones asiáticas donde se puede encontrar una prevalencia del 70% de población miope (Saw et al. 1996).

Una característica común que presentan todos los estudios, es la disminución de la prevalencia con la edad y su aumento en edad estudiantil. Este último aspecto, ya fue señalado en el año 1885 donde un estudio comprobó como a medida que iban aumentando la edad y el nivel de estudio, la prevalencia de la miopía aumentaba desde el 6.6% en la escuela básica hasta el 59% en estudiantes de medicina (McCarty et al. 2000). Hoy en día, esta elevada prevalencia se ha vinculado al aumento de la demanda en visión próxima asociado a un mayor nivel educativo, aunque existen otros muchos factores que podrían influir.

Estudios llevados a cabo en animales y humanos, han sugerido que el desenfoque hipermetrópico retiniano puede ser un estímulo para la elongación axial del globo ocular durante la progresión de la miopía. Por ello, las condiciones en las que la imagen retiniana se enfoca por detrás de la retina podrían conducir al desarrollo de la miopía. Si el proceso de emetropización parece depender de un enfoque adecuado de la imagen en la retina, anomalías en el sistema acomodativo pueden dar lugar al desarrollo de la miopía (Langaas et al. 2008).

No parece existir ninguna duda al considerar el trabajo en visión próxima como un factor relacionado con el desarrollo de la miopía (Goss 2000). Si bien esta relación está aceptada, no queda claro si se trata de un factor de riesgo por sí sólo o si es secundario a factores genéticos o del entorno (Saw et al. (2002)). Por ello, siguen surgiendo numerosos estudios que intentan explicar el mecanismo exacto por el que la actividad en visión próxima se asocia al aumento o progresión de la miopía.

#### 3.1 TEORÍAS BASADAS EN EL TONO DEL MUSCULO CILIAR

##### RELACIÓN ENTRE EL TONO DEL MÚSCULO CILIAR Y ELONGACIÓN DEL OJO:

Ante la ausencia de un estímulo visual adecuado, la acomodación adopta una posición intermedia entre la visión lejana y visión próxima (Gwiazda et al. 1995b) de aproximadamente 1.00 D. Esta posición se cree que refleja el nivel de innervación tónica para el músculo ciliar, denominándose acomodación tónica (AT) (Rosenfield et al. 1993). Este nivel de innervación tónica, ante la falta de estímulo adecuado, genera una miopía nocturna y espacial (Rosenfield et al. 1994a). Este puede ser el caso de los pilotos de avión a los que no se les presenta ningún estímulo mas que el cielo azul o conduciendo un coche por la noche en condiciones de pobre iluminación. Igualmente, esta innervación tónica del músculo ciliar presenta implicaciones clínicas en la aparición de la miopía instrumental (Rosenfield et al. 1994a). Sin embargo, en ambos casos se trata de miopías transitorias pero que pueden ejercer su influencia en el momento en el que aparecen. En este apartado atenderemos a los mecanismos por los que el tono del músculo ciliar puede provocar un aumento en la miopía.

La gran mayoría de la miopía que aparece (o progresa) en los adultos jóvenes se produce por una elongación del globo (ROSENFIEL, M., GILMARTIN, B. 1998). Uno de los mecanismos por los que se cree que aumenta la longitud axial, es el tono del músculo ciliar.

La acomodación inducida por la contracción del músculo ciliar, hace que se produzca una tracción sobre la coroides desplazándola dilatándola o contrayéndola. De esta forma, se disminuye la circunferencia de la esclera y se produce un aumento de la longitud axial del ojo (Drexler et al. 1998).

Van Alphen (1961) consideró que el músculo ciliar y la coroides actuaban como una unidad funcional que podía comportarse como una lámina continua de músculo liso que rodea el ojo

(van ALPHEN 1961). Especuló que la resistencia al estiramiento estaba directamente relacionada con el estado de contracción o el tono del músculo ciliar (AT). Sugirió que la presión intraocular del globo se ve compensada por una combinación de la tensión en la coroides y el grado de elasticidad escleral. Dado que la tensión en la coroides depende del AT, la capacidad de resistir las fuerzas intraoculares estará en función de dicho tono. La presencia de una AT alta produce un aumento de la resistencia a la presión intraocular y, por tanto, disminuye la tensión resultante en la esclera. Por el contrario, una menor tonicidad puede producir una mayor tensión sobre la esclera y una elongación secundaria.

Según diversos estudios (Gwiazda et al. 1995b, Chen et al. 2003, McBrien et al. 1987, Bullimore et al. 1987, Zadnik et al. 1999) el valor del AT en los miopes es menor que en hipermétropes. McBrien et al. 1987 encuentran diferencias en el valor de AT en función del momento de aparición de la miopía, así en pacientes cuya miopía aparece en edad adulta, la AT es mayor que en niños. Señala que esto puede deberse a la distinta etiología de la miopía en los dos grupos (genética o medioambiental) o bien a la diferencia en la amplitud de acomodación de ambos. Esta disminución en el valor de la AT, generaría un aumento de la longitud axial que haría que la miopía aumente.

### 3.2 TEORIAS BASADAS EN EL RETARDO ACOMODATIVO (LAG)

Se ha sugerido que el retardo acomodativo (lag of accommodation: LAG) que existe en el sistema acomodativo cuando se enfoca un estímulo cercano, puede proporcionar un desenfoque retiniano que funciona como señal de error que conduce al mecanismo de la emetropización (Wallman et al. 2004). Dicho LAG constituye un aumento en la cantidad de desenfoque retiniano hipermetrópico durante la acomodación. De esta forma, se convierte en una señal visual que el ojo utiliza para detectar la magnitud de su error refractivo y generar un aumento de su longitud axial para disminuir así la hipermetropía en el proceso de emetropización. Sin embargo, una vez superada la etapa de desarrollo en la infancia, si el retardo acomodativo no es preciso, puede funcionar como un mecanismo de desarrollo miópico.

Vera-Díaz et al. (2002) no encontraron diferencias significativas en el valor del retardo acomodativo entre miopes (EOM y LOM) y un grupo de sujetos emétopes (Vera-Díaz et al. 2002). Sin embargo, las diferencias en el retardo acomodativo entre miopes y emétopes parecen ponerse en evidencia cuando diferenciamos (Abbott et al. 1998a) entre miopes estables y sujetos en los que la miopía está en progresión. Según Abbott et al. (1998) este último grupo parece presentar un retardo acomodativo más elevado que los miopes estables y los emétopes (Vera-Díaz et al. 2002, Abbott et al. 1998a, Gwiazda et al. 1995a, Allen et al. 2006). Estos resultados sugieren que los pacientes con miopía en progresión deben pasar largos periodos de desenfoque retiniano hipermetrópico durante el trabajo prolongado en visión próxima (Allen et al. 2006). Se ha sugerido que este aumento del desenfoque retiniano, genera un crecimiento de la longitud axial que puede interpretarse como un intento de reducir el desenfoque hipermetrópico (Rosenfield et al. 2004).

Como resultado del aumento en las aberraciones del ojo, los miopes presentan una profundidad de foco mayor que los emétopes (Collins et al. 2006, Vasudevan et al. 2006), lo que reduce la detección de la borrosidad (aumenta su umbral de borrosidad). Se ha especulado que es este aumento del umbral de borrosidad que existe en miopes (Collins et al. 2006, Vasudevan et al. 2006, Jiang 1997b, Cufflin et al. 2007) el causante del aumento del retardo acomodativo en este grupo refractivo.

### 3.3 TEORIAS BASADAS EN LA ADAPTACION ACOMODATIVA

La posición tónica del músculo ciliar (acomodación tónica: AT) conlleva un equilibrio entre el sistema simpático y parasimpático del sistema nervioso autónomo que inerva el músculo ciliar (circuito abierto de acomodación). Cuando un objeto se acerca, la imagen borrosa que se forma en la retina pone en marcha el sistema acomodativo (circuito cerrado de acomodación) que permitirá enfocar con nitidez la imagen en la retina. El cambio que se produce en el equilibrio inervacional del circuito abierto de acomodación tras ponerse en marcha el circuito cerrado de acomodación, ha sido utilizado para describir la variación en la magnitud de la

acomodación tónica entre el momento anterior y posterior de un trabajo prolongado en visión próxima. (Chen et al. 2005, Culhane et al. 1999, Gilmartin et al. 1991, McBrien et al. 1988, Rosenfield et al. 1994b).

Debido a que existen diferencias en AT entre distintos grupos refractivos tal y como hemos señalado anteriormente, ha surgido un interés en el estudio de las diferencias en la adaptación acomodativa. Gwiazda et al. (1995) encontraron una adaptación acomodativa más elevados para niños miopes entre 7-16 años comparado con emétopes e hipermetropes de la misma edad (Gwiazda et al. 1995c). Por el contrario, en un estudio llevado a cabo con pacientes de edades muy similares (Chen et al. 2005), encontraron que esa diferencia sólo era significativa en el grupo de niños con miopía incipiente. Por otro lado, también se han mostrado adaptaciones acomodativas mayores en el grupo de miopes de aparición tardía (LOM), al diferenciar dichos miopes según el momento de desarrollo de la miopía (EOM y LOM) y compararlos con los emétopes (Culhane et al. 1999, Gilmartin et al. 1991, McBrien et al. 1988, Rosenfield et al. 1994b) (figura 8).

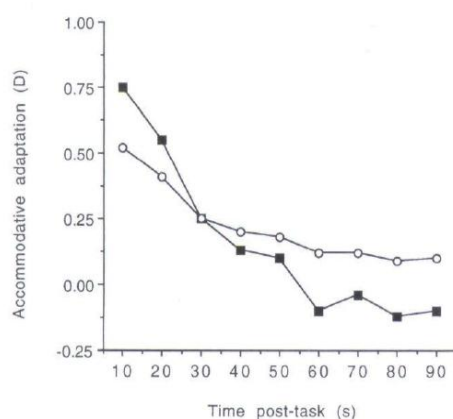


Figura 8: Valores de adaptación acomodativa en LOM (círculos) y emétopes (cuadrados) en función del tiempo desde que cesó la presencia del estímulo acomodativo. *Extraído de* (Rosenfield et al. 1994b)

Estos datos parecen sugerir que el aumento en la adaptación acomodativa se produce en aquellos sujetos que están desarrollando la miopía, lo que identifica este factor como un posible predictor del desarrollo de la miopía.



## 4. OBJETIVOS

### 4.1 OBJETIVO PRINCIPAL

Como ya se ha explicado en el apartado 2.2 (“Factores que influyen en las microfluctuaciones de la acomodación”) está demostrado que el desenfoque retiniano actúa, entre otros, como una señal de error que el componente sensorial del sistema acomodativo detecta para posteriormente producir la respuesta acomodativa. El umbral de borrosidad es la cantidad máxima que se puede tolerar sin que se detecte borrosidad. Se ha sugerido que los miopes pueden presentar un umbral elevado para la borrosidad (Schmid et al. 2002, Rosenfield et al. 1999, Radhakrishnan et al. 2004), y esto ha llevado a especular que su respuesta acomodativa puede tener características diferentes a la de los emétropes o hipermétropes, aunque hay pocas evidencias directas, a favor o en contra de esta afirmación.

Así mismo, existen muchos factores que pueden influir en el umbral de borrosidad y a su vez en las características temporales de las fluctuaciones de la respuesta acomodativa. Entre otros, el diámetro pupilar, la distancia del estímulo de fijación, la edad, el tamaño, contraste y la luminancia del estímulo, observación mono/binocular del estímulo, la fatiga visual y las señales cardiopulmonares. En el presente estudio se ha prestado atención a un buen número de dichas variables externas para controlar su efecto.

El objetivo principal de este trabajo es la caracterización, de la variación de las microfluctuaciones de la acomodación, en una muestra de población estudiantil, para distintos estímulos y condiciones visuales, mediante el Power Refractor II. Además nos ha interesado determinar en qué medida el tipo de estímulo presentado afecta a la respuesta acomodativa, y a las microfluctuaciones de la acomodación, y comparar estos resultados entre miopes tempranos, miopes tardíos y emétropes. La finalidad ha sido determinar si existe alguna diferencia en la respuesta acomodativa que pudiera contribuir en el estudio del papel de la función acomodativa en el desarrollo de la miopía.

### 4.2 OBJETIVOS SECUNDARIOS

- Determinar cómo varía la respuesta acomodativa y las microfluctuaciones de la acomodación en función de la magnitud del estímulo acomodativo, mediante lentes negativas o cambios en la distancia de presentación de dicho estímulo.
- Determinar cómo varía la respuesta acomodativa y las microfluctuaciones de la acomodación cuando se deteriora la calidad óptica del estímulo que se presenta.
- Determinar cómo varía la respuesta acomodativa y las microfluctuaciones de la acomodación cuando la observación del estímulo es monocular o binocular.
- Analizar si las variaciones estudiadas en la respuesta acomodativa y las microfluctuaciones muestran diferencias significativas en los miopes.



## 5. METODO EXPERIMENTAL

### 5.1 SUJETOS

La muestra de pacientes está formada por alumnos de la Facultad de Óptica y Optometría (FOOT) de la Universidad Politécnica de Catalunya (UPC). Los sujetos participaron de manera voluntaria tras publicar y difundir en el Centro una llamada a la participación y colaboración en el estudio. Los participantes dieron su consentimiento informado y fueron informados previamente de la naturaleza de las pruebas mediante el documento que se adjunta en el anexo X.

Se realizaron las medidas a un total de 52 sujetos de los cuales fueron incluidos en el estudio finalmente 45 entre sujetos emétopes y miopes (edad media 21,64  $\pm$  2,201 ) (tabla 1). Los miopes fueron a su vez subclasificados en función de la edad de aparición de la miopía de acuerdo a la clasificación llevada a cabo por Grosvenor (Grosvenor et al. 1999):

- Miopes de aparición temprana (early onset miopia: EOM). Sujetos cuya miopía aparece antes de los 15 años.
- Miopes de aparición tardía (late onset miopia: LOM). Sujetos cuya miopía aparece a partir de los 15 años.

Para asegurar una mejor diferenciación entre los sujetos con miopía tardía (LOM) y los de aparición temprana (EOM), se decidió incluir en el grupo EOM, únicamente a los sujetos cuya miopía hubiera aparecido antes de los 13 años.

#### 5.1.1 CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN:

- Astigmatismo del ojo derecho igual o inferior a 0.75 D.
- Miopes: equivalente esférico (EE) entre -0.50 y - 5.00 D en el ojo derecho (tabla X)
- Emétopes (EMM): equivalente esférico (EE) entre 0.00 y +1.00 D en el ojo derecho (tabla X)
- Edad comprendida entre los 19 y 27 años.
- Anisometropías iguales o inferiores a 1.50 D.
- No existencia de patología ocular.
- No existencia de disfunciones binoculares o acomodativas previas: estrabismo, forias descompensadas, disfunciones acomodativas, etc.
- Agudeza visual igual o superior a 1.

De los sujetos recogidos, 7 fueron excluidos del estudio por no cumplir alguno de los requisitos de inclusión:

- Sobrepasar la edad requerida: 2
- Astigmatismo superior al establecido: 2
- Ambliopía con reducción de mas del 0.8 de AV: 2
- Imposibilidad de realización de medidas por limitación del instrumento:1

	<b>EOM</b>	<b>LOM</b>	<b>EMM</b>
<b>Número de sujetos</b>	<b>16</b>	<b>17</b>	<b>12</b>
<b>Edad media (años)</b>	<b>21.53 <math>\pm</math> 2.577</b>	<b>21.83 <math>\pm</math> 2.038</b>	<b>21.56 <math>\pm</math> 1.99</b>
<b>Edad media de aparición de la miopía (años)</b>	<b>11.47 <math>\pm</math> 1.328</b>	<b>17.83 <math>\pm</math> 3.070</b>	<b>-</b>
<b>Error refractivo medio (dioptrías, D)</b>	<b>-2.8088 <math>\pm</math> 1.245</b>	<b>-1.1458 <math>\pm</math> 0.862</b>	<b>0,1406 <math>\pm</math> 0,182</b>

Tabla 1: Edades y error refractivo medios.

## 5.2 INSTRUMENTOS

Para llevar a cabo la medida de la refracción, se utilizó el autorrefractómetro de campo abierto Shin Nippon NVision-K5001 (Ajinomoto Trading Inc., Tokyo, Japan), que ha demostrado resultados refractivos fiables, válidos y reproducibles (Atchison 2003, Mallen et al. 2001, Wolffsohn et al. 2001). Presenta la ventaja de evitar la miopía acomodativa e instrumental que presentan otros autorrefractómetros, ya que el estímulo de fijación se encuentra situado a 6 metros.

Para llevar a cabo el estudio de las medidas de las microfluctuaciones de la acomodación, se ha utilizado el fotorrefractómetro Power Refractor II (PR II, PlusoptiX AG, Nürnberg, Germany; software 3.5).

### 5.2.1 FOTORREFRACTOMETRO

Históricamente han existido 3 tipos de fotorrefractómetros; ortogonal (Howland et al. 1983, Howland et al. 1974), isotrópico (Howland et al. 1983, ATKINSON J., O. J. Braddick, L. Ayling, E. Pimm-Smith, H. S. Howland, and R. M. Ingram 1981) y excéntrico. Los fotorrefractómetros siguen un principio muy similar al utilizado clínicamente en la retinoscopia. Envían un haz luminoso al ojo, que tras su reflexión en la retina produce un reflejo pupilar dependiente de la distancia de la cámara que recoge las imágenes al ojo, el tamaño pupilar, la posición excéntrica de la fuente de luz con respecto al eje óptico de la cámara y el grado de desenfoque del sujeto (Howland 1985).

Los diseños ópticos de los fotorrefractómetros ortogonal e isotrópico, son similares y se han denominado coaxiales. Se llaman así porque la fuente de luz se centra a lo largo del eje óptico de la lente de la cámara que recoge las medidas. En ellos, el patrón o características del reflejo se debe al desenfoque de la cámara con respecto al ojo. En el caso del diseño ortogonal, el patrón se logra por el desenfoque de la luz que vuelve a la cámara a través de un montaje de lentes cilíndricas. En el diseño isotrópico las características del reflejo se deben al desenfoque de la cámara en sí misma.

En 1979, Kaakinen y Tommila (Kaakinen et al. 1979) inventaron un método de fotorretinoscopia denominado fotorrefracción excéntrica, denominado así porque la fuente de luz estaba situada excéntricamente al eje óptico de la cámara. El reflejo pupilar que se forma es una media luna, cuya anchura (una vez mantenidos fijos el resto de parámetros) depende del grado de desenfoque del ojo y su posición, del tipo de defecto refractivo, ya que en los miopes esta se encontrará en la parte superior, mientras que en los hipermetropes lo hará en la región pupilar inferior (imagen 2) (Bobier et al. 1985).

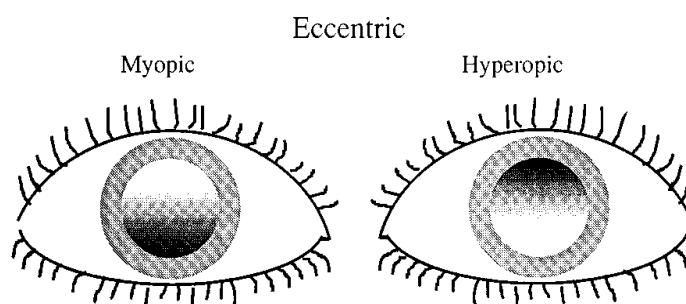


Imagen 2: Reflejos pupilares obtenidos en la fotorrefracción excéntrica en miopes e hipermetropes. Extraído de (Campbell et al. 1995)

El avance fundamental en la funcionalidad de los fotorrefractómetros sucede con la introducción de diodos de luz infrarroja como fuente de luz, lo que permite evitar la constricción pupilar sin necesidad de usar midriáticos (Schaeffel et al. 1987). Más tarde con la introducción de videocámaras también se ha conseguido realizar la medida de forma continua (Howland 2009). Esto ha permitido observar los cambios del estado refractivo del ojo con la acomodación, que tras ser recogidos en un ordenador, pueden ser evaluados posteriormente.

El rango de medidas también ha aumentado considerablemente al situar LEDs infrarrojos a diferentes excentricidades (fotorrefractómetro excéntrico). Por otra parte, la disposición de un número variable de LEDs en función de la excentricidad, hace que la intensidad de luz que llega al fondo de ojo sea similar en todas ellas (Schaeffel et al. 1987).

La repetibilidad y exactitud de la fotorrefracción para la determinación de la fotorrefracción estática han sido cuestionadas. Esto se debe a la variabilidad del reflejo pupilar para una misma cantidad de desenfoque. Así mismo, se ha demostrado la dificultad para estimar la cantidad y el eje del astigmatismo (Abrahamsson et al. 2003).

Sin embargo, esto no afecta a su uso como instrumento para la medida dinámica del valor refractivos (Howland 2009). Entre otras características cabe destacar que:

- Distancia de trabajo de 1 metro o más, lo que ofrece ventajas en la realización de medidas en bebés.
- El registro de la refracción es permanente y continuo.
- Permite grabar períodos de hasta 2 minutos para de esta manera observar como varía el estado refractivo para un determinado estímulo, lo que indirectamente informa de la variación en la respuesta acomodativa.
- Permite medidas simultáneas de los dos ojos.

### 5.2.2 POWER-REF II (PR II, Plusoptix AG, Nürnberg, Germany; software 3.5):

Como ya hemos señalado, se trata de un fotorrefractómetro basado en la fotorrefracción excéntrica, que presenta 54 LEDs infrarrojos situados de manera que en la región mas externa existe una fila de 4 LEDs (agrupados en 6 bloques) que disminuye a medida que nos acercamos al eje óptico del sistema (imagen 3).



Imagen 3: PowerRef II sin soporte.  
Extraído del manual de instrucciones  
proporcionado por plusoptix.

El PR II se encuentra sujeto a un soporte, en nuestro caso un trípode, que nos permite desplazar el instrumento. Está diseñado para tomar medidas a 1 metro de distancia del paciente, (254 Plus optix eye-vision technology copyright 2005) pudiendo situar los objetos de fijación entre el paciente y el PR II o incluso mas alejado. Aunque su antecesor (el PR I) presentaba distintos scaneres que permitían determinar la refracción estática del paciente, el PR II únicamente presenta una medida continua y dinámica ("Dynamic Scan") de la refracción proporcionándonos valores en equivalente esférico (del meridiano vertical) de la refracción del ojo, así como del tamaño pupilar (Jainta et al. 2004)

El PR II trabaja con un tiempo de resolución de 25 Hz, es decir, toma medidas cada 0.04 seg. (tabla 2) durante un período máximo de 2 minutos, lo que teóricamente permite tomar 3000 puntos de medida durante ese período. Para manejar toda esa cantidad de información, los datos son recogidos por un software proporcionado por Plusoptix AG lo que permite realizar el tratamiento informático de los datos que sea necesario tras el experimento (Jainta et al. 2004). La realización de medidas binoculares y el análisis pupilar, nos permite obtener la distancia interpupilar así como la desviación de la mirada a través de los reflejos de Purkinje de ambas pupilas. De manera monocular, nos permite igualmente conocer la desviación de mirada desde el centro de la pupila al reflejo de Purkinje de cada una de las pupilas por separado (Plus optix eye-vision technology copyright 2005).

Refracción	Binocular y monocular
<b>Rango esférico</b>	+5/-7 D en pasos de 0.25 D; +/-0.25 D
<b>Tamaño pupilar</b>	4-8 mm en pasos de 0.1mm; +/-0.3 mm
<b>Distancia pupilar</b>	mm en pasos de 1; +/-5%
<b>Tiempo por medida</b>	0.04 s (25 Hz)
<b>Distancia de medida</b>	1 m
<b>Tarjeta de fijación</b>	Sonido y LEDs
<b>Medida principal</b>	Fotosciscopía dinámica binocular

Tabla 2: Especificaciones de las medidas con el PowerRef II. Extraído del manual de instrucciones proporcionado por Plusoptix (Plus optix eye-vision technology copyright 2005).

## 5.3 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

### 5.3.1 MONTAJE Y CONDICIONES EXPERIMENTALES

El montaje de los instrumentos utilizados, se dispuso en dos mesas contiguas de tal forma que el sujeto se tuviera que desplazar lo mínimo posible (imagen 4) primero en la medida de la refracción y posteriormente para la grabación de las microfluctuaciones de la acomodación.



Imagen 4: Montaje experimental del PR II y el autorrefractómetro Shinn-Nippon.

Para asegurar que el estímulo fuera lo suficientemente luminoso para desencadenar la respuesta acomodativa ( $>$  de  $0.002 \text{ cd/m}^2$ ) antes de realizar el montaje experimental se midieron con un luxómetro, las luminancias en el plano del test y en el plano pupilar del paciente. Los valores obtenidos fueron:

- Luminancia en el plano pupilar =  $35 \text{ cd/m}^2$ .
- Luminancia en el plano del test =  $65 \text{ cd/m}^2$ .

La refracción de los sujetos con el autorrefractómetro Shin-Nippon se llevó a cabo bajo los siguientes criterios:

- Se seleccionó una distancia al vértice para la medida de la refracción de 10 mm.
- Se usó una precisión de 0.25 dioptrías (D).
- Se determinó la media ponderada de las tres medidas automáticas q en equivalente esférico (EE).

Para la medida de las microfluctuaciones de la acomodación se disponía de un banco óptico, en el que se situaron los diferentes estímulos visuales de fijación. A 1 metro de distancia, (imagen 5) (como señala el manual) se encontraba el PR II que estaba alineado en altura y centrado con el ojo derecho del sujeto, ya que sólo se usaron los datos del ojo derecho para la caracterización de las microfluctuaciones de la acomodación. Con esta alineación se pretendía que las medidas fueran lo más centrales posibles. Así aunque el PR II recoge datos de ambos ojos, los datos del ojo izquierdo eran excéntricos en este montaje. Para evitar al máximo modificaciones en la altura del PR II de unos sujetos a otros, se realizaron 2 marcas para señalar la altura a la que tenían que situarse los ojos del sujeto.

Las medidas fueron tomadas durante los meses de marzo y abril asignando día y hora de visita de cada paciente en franjas de 30 minutos (anexo 2). Los datos del equivalente esférico se imprimían en el momento, pero únicamente se anotaban en la hoja de resultados (anexo 2) el valor medio del equivalente esférico y el astigmatismo máximo medido. En dichas hojas, se anotaba también la edad del paciente así como la edad de aparición de la miopía. Cabe señalar que todas las pruebas fueron realizadas por el mismo examinador.



Imagen 5: Montaje experimental del PR II para la medida de las microfluctuaciones de la acomodación

### 5.3.2 ESTÍMULOS Y CONDICIONES VISUALES EMPLEADAS

#### 5.3.2.1 Tamaño del estímulo:

Todos los optotipos utilizados para las medidas (tanto en visión próxima como en visión lejana) corresponden a una agudeza visual decimal (AV) de 0.4. Esta agudeza visual corresponde a una AV 1M a 40 cm, que se considera como estándar para el tamaño de letra del periódico, es decir, se trata de un estímulo con un tamaño apropiado a las necesidades visuales de la vida cotidiana.

Con el fin de mantener la atención del sujeto, el diseño de los optotipos generados estaban compuestos por sílabas que unidas entre sí formaban “palabras” que no tenían significado (imagen 6).

Todos los optotipos fueron generados mediante ordenador con los cálculos pertinentes para conseguir el tamaño de estímulo requerido a las distintas distancias. Para ello, se calculó el tamaño de letra necesario para conseguir una AV= 0.4 mediante la siguiente ecuación:

$$AV = \frac{2.9 \times 10^{-4} \times d}{s}$$

Donde:

- AV=0.4
- d = es la distancia de trabajo
- s = el mínimo detalle que debe tener el estímulo para que la AV sea 0.4

#### 5.3.2.2 Contraste del estímulo:

Para conocer el contraste de los distintos optotipos, se utilizó el contraste de Webber:

$$Cte(\%) = \frac{L_{\max} - L_{\min}}{L_{\max} + L_{\min}} \times 100$$

Donde:

- Lmax = luminancia máxima del optotipo
- Lmin= luminancia mínima del optotipo

Para poder medir las luminancias, en primer lugar se generaron e imprimieron optotipos sobre fondo blanco con diversos códigos RGB. Se midió la luminancia del fondo blanco donde estaban impresos los optotipos, y posteriormente la luminancia de la tinta negra de los propios optotipos. A partir de los datos obtenidos en los distintos códigos RGB, se aplicó la fórmula del contraste Webber.

A partir de esta fórmula, los optotipos de alto contraste utilizados presentaban un código RGB=0 que se correspondía con un contraste Webber del 88%. El estímulo de bajo contraste elegido presenta un código RGB=220, que se corresponde con un contraste Webber del 11%.

LERO NINA  
 MOCA MEMI  
 SOTA MESI  
 GASO TATO  
 JESE LATO  
 TORU TIPE  
 BORE MALA  
 TORI PERO  
 CABO NANA

Imagen 6: Ejemplo de optotipo utilizado en las medidas de las microfluctuaciones generado por ordenador. En este ejemplo, el optotipo generado presentaba una AV=0.4 a 50 cm con un contraste Webber del 88%.

### 5.3.2.3 Estímulos borrosos:

Para genera el estímulo borroso utilizado, se calculo el tamaño de la mancha de desenfoque en un ojo teórico para una borrosidad de 0.50 dioptrías. Utilizando el PhotoShop, se aplicó a la imagen del optotipo en visión próxima un filtro gaussiano que provocaba el desenfoque mencionado.

Para generar otro tipo de borrosidad se utilizaron también los filtros de Bangerter. Se trata de filtros de difusión que inducen una determinada borrosidad (Vera-Diaz et al. 2004) mediante un adhesivo translúcido que se pega a la lente (Pérez et al. 2010). Dichos filtros se colocan frente a uno de los dos ojos con el objetivo de reducir su AV y son utilizados como penalización óptica en el tratamiento de ambliopías. En nuestro estudio se utilizó un filtro que disminuía la AV decimal hasta 0.8. Según Pérez et al. (2010), el desenfoque objetivo (medido por aberrometría) generado por un filtro de Bangerter de 0.8 es aproximadamente equivalente a 0.35 dioptrías (Pérez et al. 2010).

### 5.3.2.4 Respuesta acomodativa monocular:

Para estudiar la respuesta acomodativa monocular, se utilizó un filtro infrarrojo (IR) frente al ojo derecho de cada sujeto. Dicho filtro, aunque impidiera que el o derecho pudiera fija, permitía la medida de la respuesta acomodativa consensual del ojo izquierdo, ya que la luz infrarroja emitida por el PR II puede atravesar el filtro.

Se provocó también una respuesta acomodativa de igual magnitud que la generada a una distancia de 33 cm con una lente de -3,00 D. Esta lente se situará en el OI de tal forma que la medida de la respuesta acomodativa se realizará en el OD ocluyéndolo con el mismo filtro IR ya señalado. El optotipo de fijación se encontraba situado en el infinito óptico (6 metros de distancia).

Los resultados de todas las medidas refractivas obtenidas con el PR II eran automáticamente grabadas en el Software del instrumento y enviadas a una hoja de cálculo Excell para su posterior análisis.



### 5.3.3 PROTOCOLO DE MEDIDAS

Después de explicar la naturaleza de las pruebas al sujeto, se le pedía que firmase el consentimiento informado (anexo 2). A continuación se le realizaba un cuestionario acerca de su historial familiar y personal de salud ocular y general. Esta demora se aprovechaba para que el sujeto se adaptara a las condiciones de iluminación de la sala. Seguidamente, se procedía a la realización de las medidas siguiendo el siguiente protocolo:

1. Refracción mediante el autorrefractómetro Shin-Nippon.
2. Para asegurar una distancia al vértice pequeña ( $\approx 10$  mm) y que de esta forma la potencia real y la potencia efectiva de la lente fueran lo más parecido posible, se usó un lens-holder tipo flipper donde se colocaban las lentes de neutralización.
3. Se acomodaba al sujeto frente al PR II antes descrito y se centraba y ajustaba la altura de la mentonera.
4. Se instruía al paciente para que mantuviera la fijación, leyendo y parpadeando con normalidad. Las medidas para los diferentes estímulos se realizaban en el ojo derecho (OD) y duraban 1 minuto.
5. La secuencia de medidas fue la siguiente:
  - 5.1 VL: Binocular, estímulo de fijación a 6 metros, optotipo de alto contraste (Webber 88%).
  - 5.2 100 cm: Binocular, estímulo de fijación a 100 cm, optotipo de alto contraste (Webber 88%).
  - 5.3 50 cm: Binocular, estímulo de fijación a 50 cm, optotipo de alto contraste (Webber del 88%).
  - 5.4 33 cm: Binocular, estímulo de fijación a 33 cm, optotipo de alto contraste (Webber 88%).
  - 5.5 25 cm: Binocular, estímulo de fijación a 25 cm, optotipo de alto contraste (Webber 88%).
  - 5.6 Monocular a 33 cm: Filtro infrarrojo (IR) frente al OD (se advierte que no podrá ver con ese ojo pero que el PR II sí que realizará medidas), estímulo de fijación a 33 cm, fijación con OI (Webber 88%).
  - 5.7 Monocular con lente de -3.00 dioptrías: Filtro IR frente el OD, el estímulo de fijación se genera mediante una lente de -3.00 dioptrías, sumado a su error refractivo. Se pide al sujeto que fije en el estímulo optotipo situado a 6 metros. La medida comienza cuando el sujeto logra aclarar el optotipo por primera vez. (contraste Webber del 88%).
  - 5.8 Filtros de Bangerter: Binocular, se sitúa el filtro de Bangerter frente a ambos ojos, estímulo de fijación a 33 cm, optotipo de alto contraste (Webber 88%).
  - 5.9 Estímulo borroso: Binocular, estímulo de fijación a 33 cm, previamente manipulado para presentar una borrosidad aproximada de 0.50 D con un contraste Webber del 88%.
  - 5.10 Estímulo de Bajo contraste: nuevamente se sustituye el optotipo, en esta ocasión por un optotipo de bajo contraste. El contraste Webber de este optotipo era del 11%.

La toma de todas las medidas del 5.1 al 5.5 se realizaron siempre en el mismo orden a todos los sujetos. Sin embargo, se aleatorizó el orden de las medidas entre la 5.6 y la 5.10 para evitar de esta manera que las últimas medidas se vieran influenciadas por el cansancio. Entre cada una de las medidas se concedía 1 minuto y medio de descanso, tiempo utilizado para nombrar y guardar los datos en el software del PR II.

## 6.RESULTADOS

### 6.1 ANALISIS ESTADISTICO

Con el objeto de analizar las características de la respuesta acomodativa en función de las condiciones del estímulo estudiadas, se ha sometido a los datos a un análisis estadístico, usando por una parte los datos de la respuesta acomodativa media, y por otra la transformación de dichos datos en funciones equivalentes (Fast Fourier Transform (FFT)) que permita el análisis de las microfluctuaciones.

#### 6.1.1 ANALISIS ESTADÍSTICO DE LA RESPUESTA ACOMODATIVA

##### 6.1.1.1 Curvas estímulo respuesta:

La respuesta acomodativa media fue analizada en primer lugar mediante las curvas-estímulo respuesta que tradicionalmente se han usado para describir la relación entre la respuesta acomodativa en función del estímulo acomodativo. El estudio de estas curvas, mediante el gradiente de la pendiente, la intersección y el coeficiente de regresión del modelo lineal, revela el comportamiento de la respuesta para una secuencia de estímulos acomodativos cada vez mayores.

##### 6.1.1.2 Índice de error:

Para complementar el análisis de los datos de la respuesta acomodativa media se ha determinado un índice de error acomodativo basado en las sugerencias de Chauhan y Charman (1995), Aunque el análisis de los parámetros para el estudio de las curvas estímulo-respuesta, descrito anteriormente es útil, no es suficiente ya que sólo puede estudiar los parámetros de la curva de forma independiente (Chauhan et al. 1995).

El *índice de error acomodativo* ( $n_a$ ) utilizado en este estudio se obtiene de dividir el error de la respuesta acomodativa, para cada sujeto, entre el coeficiente de correlación ( $R^2$ ) del grupo, lo que proporciona una medida de error ponderado para cada sujeto.

#### 6.1.2 ANALISIS ESTADÍSTICO DE LAS MICROFLUCTUACIONES DE LA ACOMODACIÓN:

Además del análisis de la respuesta acomodativa media en función del estímulo acomodativo se ha estudiado la fluctuación de dicha respuesta durante la fijación constante de un estímulo estable. Con este fin se ha usado la rms y el análisis de frecuencias de las microfluctuaciones (Power Density function). Se trata de un análisis de la calidad de dicha respuesta acomodativa, es decir, de su estabilidad dado un estímulo fijo.

##### 6.1.2.1 ROOT MEAN SQUARE (RMS):

El root mean square (RMS) o media cuadrática, es una medida estadística de la magnitud de la variación cuantitativa. El RMS tiene en cuenta el valor medio de los datos a estudio ( $x_{media}$ ) y la desviación estándar (sd) según la siguiente ecuación:

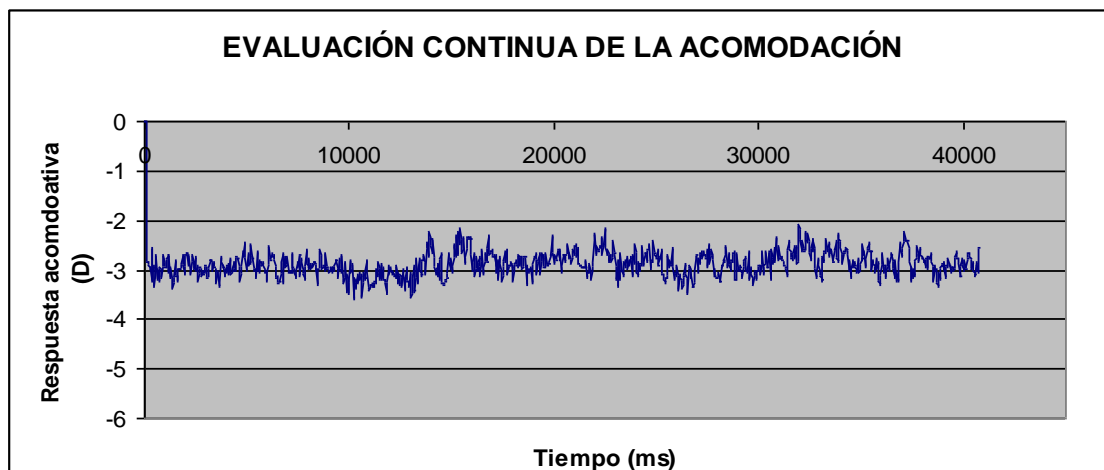
$$RMS = \sqrt{x_{media}^2 + sd^2}$$

De esta manera, el RMS cuantifica la variación en la respuesta acomodativa en función de la desviación estándar, es decir, las fluctuaciones que sufre la acomodación para cada condición de estudio. A partir de los resultados obtenidos al realizar el RMS en la respuesta acomodativa, podemos establecer las diferencias estadísticas existentes en las microfluctuaciones de la acomodación comparando distintas condiciones de estudio y también entre los distintos grupos refractivos.



### 6.1.2.2 ANALISIS DE LAS FRECUENCIAS DE LAS MICROFLUCTUACIONES DE LA ACOMODACIÓN: POWER DENSITY:

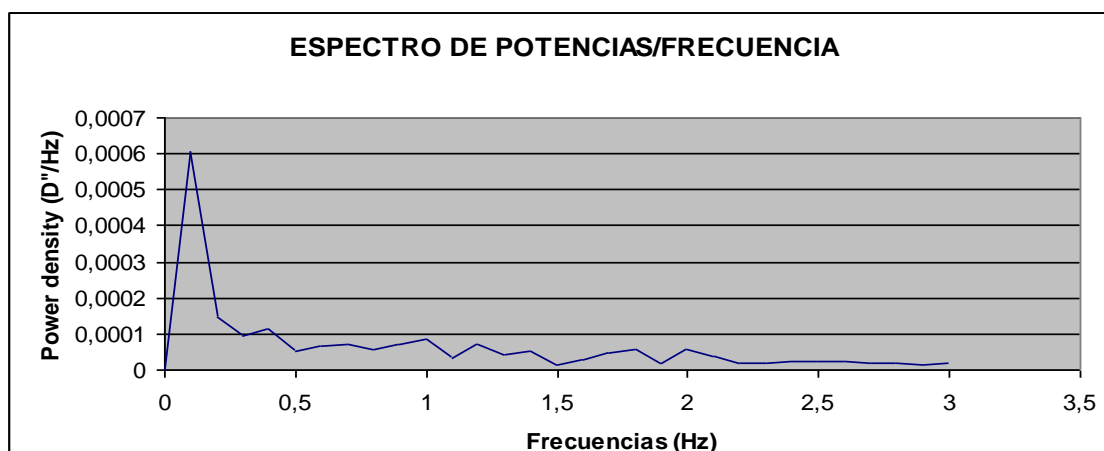
La recogida continua de datos (1 medida cada 0,04 sg) proporciona una gran cantidad de calores a lo largo de 1 minuto de medida. Esto genera una función ( $f(t)$ ) donde  $f$  es la respuesta acomodativa y  $t$  el tiempo (gráfica 1). Como paso previo al análisis de los datos, se eliminó el ruido generado por los parpadeos y que proporcionaba datos con valores nulos.



Gráfica 1: Representación de la función  $f(t)$  que muestra la respuesta acomodativa de un individuo a lo largo del tiempo de medida.

Se analizan las frecuencias contenidas en las microfluctuaciones mediante un análisis de Fourier. En primer lugar se calcula la transformada de Fourier de  $f(t)$  mediante el algoritmo "Fast Fourier Transform" (FFT).

A partir de la transformada de Fourier, se calcula lo que en la mayor parte de la bibliografía consultada se denomina "espectro de potencias" (Power Spectrum) cuyo valor indica la amplitud de la fluctuación para cada frecuencia con una resolución de 0,1 Hz (gráfica 2) (CAMPBELL et al. 1959, Day et al. 2006, Seidel et al. 2003, Collins et al. 1995, Stark et al. 1997, Toshida et al. 1998, Pugh et al. 1987). La suma de la función Power spectrum entre 0,1 y 0,6 Hz nos proporciona un valor absoluto de la magnitud de las microfluctuaciones en la región de las bajas frecuencias (LFC) y la misma integración en la región comprendida entre 1-2,3 Hz, nos proporciona un valor absoluto de la magnitud de las microfluctuaciones en la región de las altas frecuencias (HFC).



Gráfica 2: Representación del Power Spectrum. LFC= frecuencias comprendidas entre 0,1-0,6 Hz. HFC= frecuencias comprendidas entre 1-2,3 Hz

A partir de los valores absolutos obtenidos con el, se realizaron las comparaciones estadísticas de las microfluctuaciones de la acomodación en función de los distintos estímulos y grupos refractivos.

### 6.1.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO Y CONDICIONES ESTUDIADAS:

Antes de proceder a la realización del análisis estadístico, se comprobó que los datos obtenidos de respuesta acomodativa proporcionados por el PRII tenían una distribución normal para todas las condiciones. Los coeficientes de Shapiro-Wilk mostraron una distribución normal ( $p > 0.05$ ) de los datos para todas las condiciones de estudio. Esto ha permitido la aplicación de estadística paramétrica para comparar las diferentes condiciones. Para estudiar la existencia de interacciones estadísticamente significativas en los indicadores y variables mencionados, se ha utilizado el análisis de varianza (ANOVA unifactorial) para cada condición. Se ha considerado diferencias estadísticamente significativas cuando  $p < 0.05$  para un intervalo de confianza del 95%.

El análisis de la respuesta acomodativa media y de la magnitud de las microfluctuaciones tanto en la región de las bajas (LFC) como de las altas (HFC) frecuencias se llevó a cabo en función de las siguientes condiciones de medida del estímulo acomodativo:

- 1) Distancia de presentación del estímulo acomodativo (condiciones binoculares):
  - a) infinito
  - b) 1 m
  - c) 50 cm
  - d) 33 cm
  - e) 25 cm
- 2) Tipo de borrosidad a 33 cm (condiciones binoculares):
  - Con filtros de Bangerter
  - Con estímulo borroso
  - Con estímulo de bajo contraste
  - Sin estímulo borroso
- 3) Monocular vs binocular a 33 cm
  - Medida monocular
  - Medida binocular
- 4) Estimulación con lentes negativas (-3 D) vs distancia (33 cm)
  - medida con lente -3 D
  - medida monocular a 33 cm
  - medida binocular a 33 cm

Este análisis se realizó tanto para todo el grupo de sujetos estudiados como en función del grupo refractivo al que pertenecían (emetropía, miopía de aparición tardía (LOM) y miopía de aparición temprana (EOM))

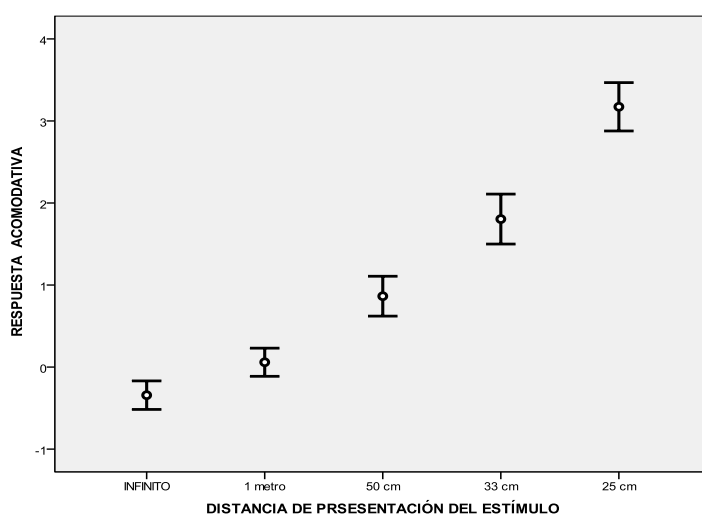
## 6.2 ANALISIS DE RESULTADOS

### 6.2.1 ANALISIS DE LA RESPUESTA ACOMODATIVA:

#### 6.2.1.1 Respuesta acomodativa en función de la distancia:

##### a) Curva estímulo respuesta.

El análisis de varianza muestra una interacción estadísticamente significativa (ANOVA;  $p < 0.001$ ) de la respuesta acomodativa media y la distancia de presentación del estímulo acomodativo (gráfica 3). A medida que la demanda acomodativa es mayor (el estímulo se sitúa mas cerca del sujeto) la respuesta acomodativa aumenta significativamente (tabla 3 y tabla 1 anexo 1).

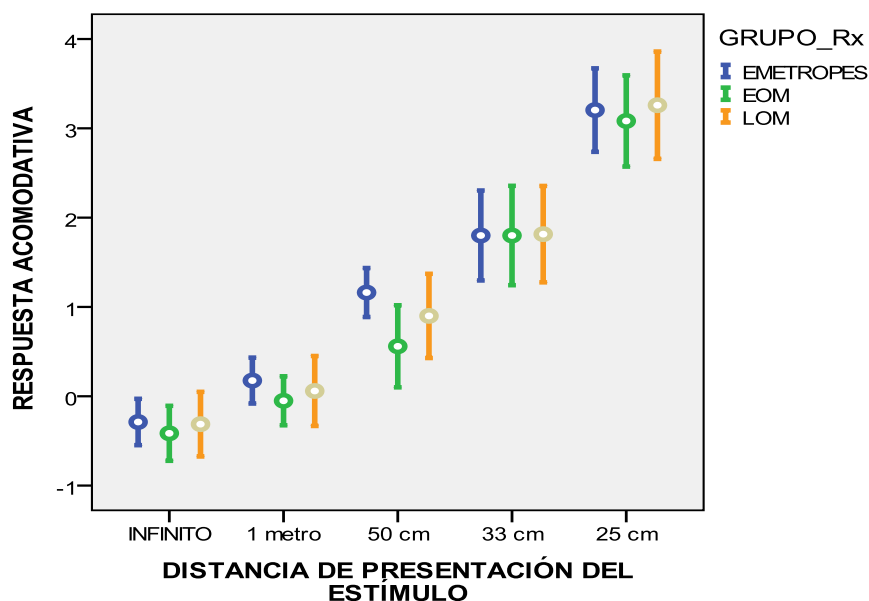


Gráfica 3: Respuesta acomodativa media en función de la distancia para todos los grupos ( $\pm 2$  SE).

	Infinito	1 m	50 cm	33 cm	25 cm
Media	-0,34246532	0,05903003	0,86411925	1,80406235	3,17272592
se	$\pm 0,08692341$	$\pm 0,08579887$	$\pm 0,12150234$	$\pm 0,15224479$	$\pm 0,1473910$

Tabla 3: Análisis descriptivo de la respuesta acomodativa media en función de la distancia.

Sin embargo, no se encontró interacción entre la respuesta acomodativa media y el grupo refractivo al que pertenecía el sujeto (ANOVA;  $p = 0,645$ ). La gráfica 4 muestra la distribución en función del grupo refractivo donde se aprecia que sólo existe significación estadística (a la distancia de 50 cm entre el grupo de emétropes (EMM) y miopes tempranos (EOM) (post-hoc DMS;  $p = 0,34$ ) (gráfica 4 y tabla 4) (tabla 2 anexo 1).



Gráfica 4: Respuesta acomodativa media en función de la distancia para cada grupo refractivo ( $\pm 2$  SE).

		Infinito	1 m	50 cm	33 cm	25 cm
EMM	Media	-0,288155856	0,175618530	1,161420241	1,80009952	3,204262272
	se	$\pm 0,129820231$	$\pm 0,128658267$	$\pm 0,137230584$	$\pm 0,251865374$	$\pm 0,233675949$
EOM	Media	-0,414879117	-0,050768540	0,559251582	1,799976760	3,082251143
	se	$\pm 0,153932828$	$\pm 0,137167735$	$\pm 0,229802804$	$\pm 0,278228458$	$\pm 0,255386143$
LOM	Media	-0,312291738	0,059126650	0,899613813	1,815134053	3,258850071
	se	$\pm 0,180971068$	$\pm 0,195844080$	$\pm 0,235763315$	$\pm 0,269832850$	$\pm 0,300557576$

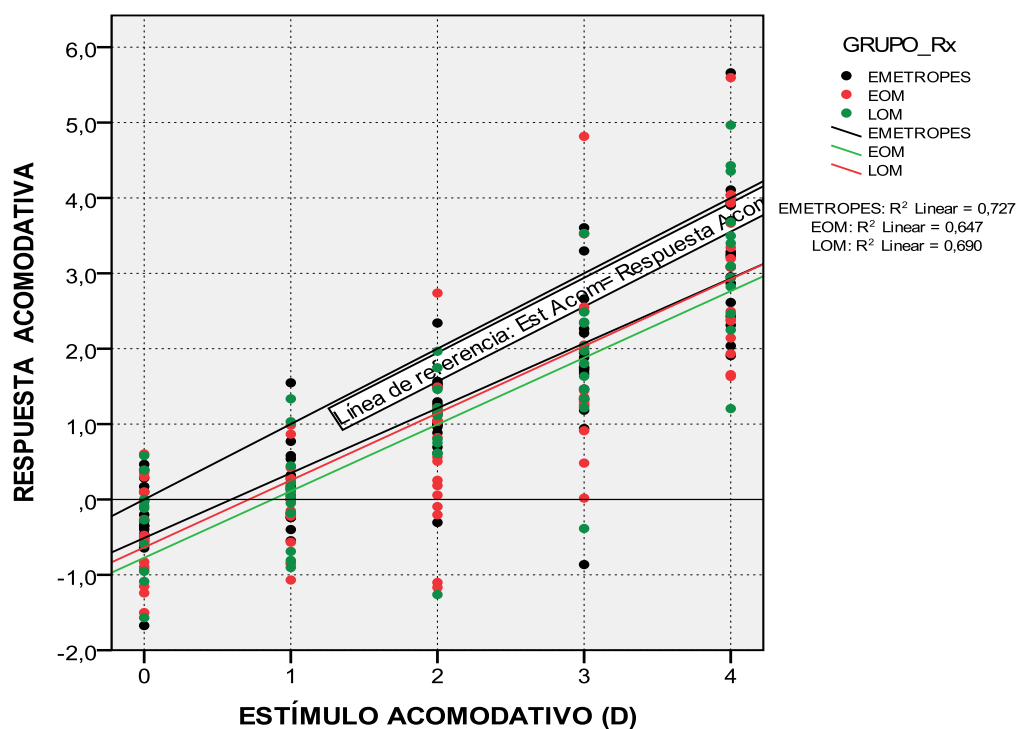
Tabla 4: Análisis descriptivo de la respuesta acomodativa media en función de la distancia y el grupo refractivo

El modelo de regresión lineal aplicado a la función estímulo-respuesta acomodativa según el grupo refractivo indica que se trata de curvas muy parecidas. La tabla 5 indica los valores de la pendiente, intersección y coeficiente de regresión lineal para cada grupo refractivo. En todos los casos el gradiente de la pendiente, que viene determinado por el valor  $m$  de las ecuaciones es inferior a 1, lo que indica que la respuesta acomodativa es inferior al estímulo. Además, la intersección con el eje Y negativo viene dado por la constante  $c$  de la ecuación del modelo de regresión lineal.

	R <sup>2</sup>	m	c
EMM	0,727	0,861	-0,511
EOM	0,647	0,885	-0,774
LOM	0,690	0,890	-0,636
TODA LA MUESTRA	0,682	0,878	-0,644

Tabla 5: Valores de regresión ( $R^2$ ), pendiente ( $m$ ) e intersección con el eje y ( $c$ ) de las rectas de regresión de la respuesta acomodativa en función de la distancia para cada grupo refractivo y la recta de regresión total.

Los 3 grupos refractivos muestran unos resultados muy similares. Si analizamos más detalladamente los datos (tabla 5 y gráfica 5) se puede mencionar que el coeficiente de regresión, si bien muy similar entre los grupos, es ligeramente inferior en los EOM lo que informaría de una mayor dispersión de resultados en este grupo. El valor del gradiente de la pendiente ( $m$ ) es casi idéntico en los 3 grupos refractivos. Por otro lado, si analizamos el valor de  $c$  vemos que es ligeramente menor en los EOM lo que permitiría interpretar que la respuesta acomodativa es menor en este subgrupo (gráfica 5).

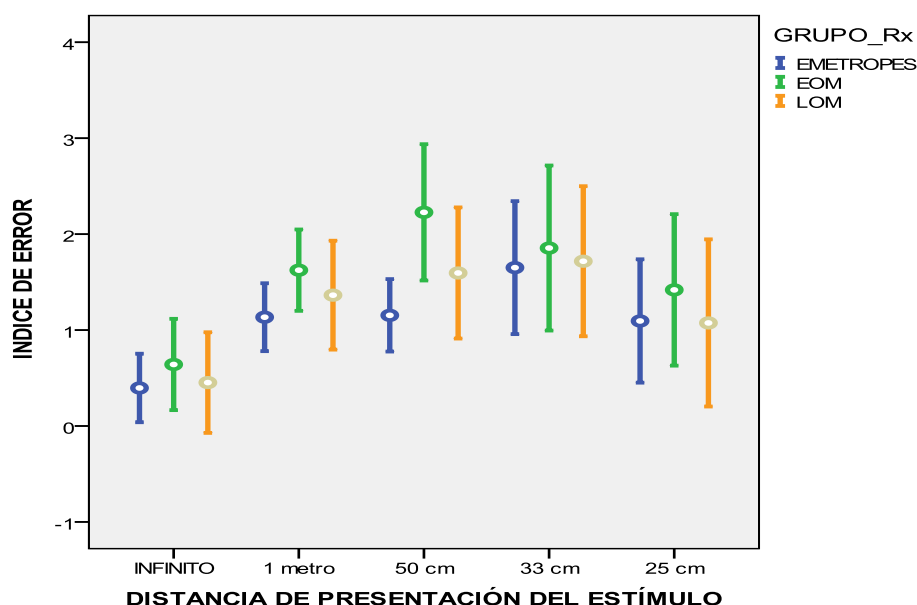


Gráfica 5: Regresión lineal para cada grupo refractivo en función de la distancia de presentación del estímulo.

*b) Cálculo del índice de error.*

El análisis de varianza muestra que existe interacción estadísticamente significativa (ANOVA;  $p < 0.001$ ) del  $n$  de error acomodativo en función de la distancia de presentación del estímulo acomodativo (gráfica 6). El  $n$  de error acomodativo aumenta de forma significativa a medida que aumenta la demanda acomodativa desde visión de lejos hasta la presentación del estímulo 50 cm, a partir de aquí el  $n$  error se mantiene (tabla 6). Un análisis detallado de los datos por grupo refractivo sólo indica diferencias significativas para el grupo miope temprano a la distancia de presentación de 50 cm.

Al analizar las diferencias existentes del  $n$  de error acomodativo en función del grupo refractivo se aprecia que no existen diferencias significativas (ANOVA;  $p = 0,059$ ).



Gráfica 6: Índice de error en función de la distancia de presentación del estímulo y el grupo refractivo ( $\pm 2$  SE).

	Infinito	1 m	50 cm	33 cm	25 cm
<b>Media</b>	<b>0,5038658792</b> <b>1</b>	<b>1,3803394616</b> <b>7</b>	<b>1,6766368593</b> <b>3</b>	<b>1,745440609</b> <b>5</b>	<b>1,21147375</b> <b>4</b>
<b>se</b>	<b>±0,128446170</b> <b>1</b>	<b>±0,127842396</b> <b>0</b>	<b>±0,185158625</b> <b>7</b>	<b>±0,22433843</b> <b>1</b>	<b>±0,2171833</b> <b>6</b>

Tabla 6: Análisis descriptivo del índice de error en función de la distancia de presentación del estímulo.

Post-hoc test (DMS) (tabla 4 anexo 1) muestra una significación estadística entre el grupo EOM y el grupo emétopes (post-hoc DMS,  $p=0,020$ ). El grupo EOM presenta un índice de error mayor que los emétopes y LOMs (tabla 7).

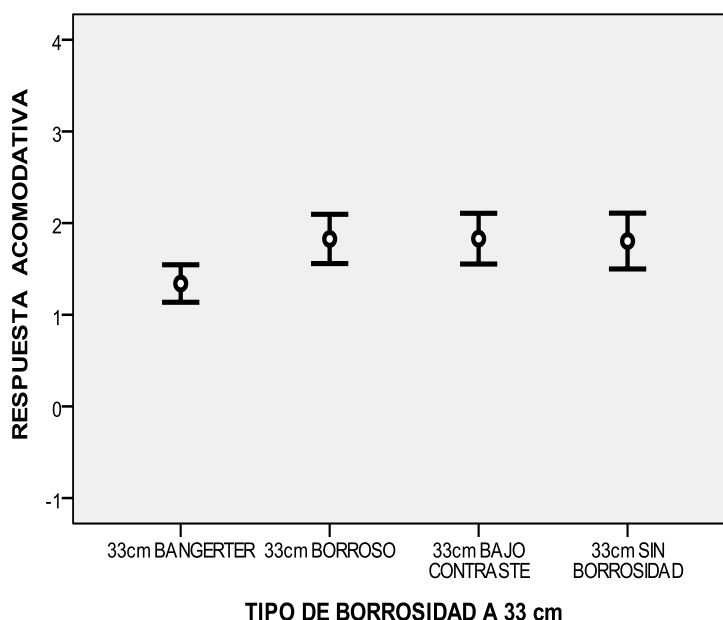
	n	se
<b>EMM</b>	<b>1,0857648664</b>	<b>±0,1194268722</b>
<b>EOM</b>	<b>1,5530658967</b>	<b>±0,1580727058</b>
<b>LOM</b>	<b>1,2404542477</b>	<b>±0,1616945138</b>

Tabla 7: Análisis descriptivo del índice de error en función del grupo refractivo.

El análisis del índice de error nos permite llegar a conclusiones similares a las comentadas en la gráfica de las curvas estímulo respuesta. El grupo EOM presentan un mayor índice de error.

#### 6.2.1.2 Respuesta acomodativa en función de la borrosidad del estímulo:

De los datos analizados respecto a la condición de borrosidad del estímulo (filtros de Bangerter, estímulo borroso, estímulo de bajo contraste y estímulo sin borrosidad) a 33 cm sólo se encuentran diferencias significativas (post-hoc DMS;  $p<0,05$ ) (tabla 5 anexo 1) en la respuesta acomodativa con el filtro de Bangerter respecto a cada una de las demás condiciones, al comparar todo el grupo de sujetos (gráfica 7):



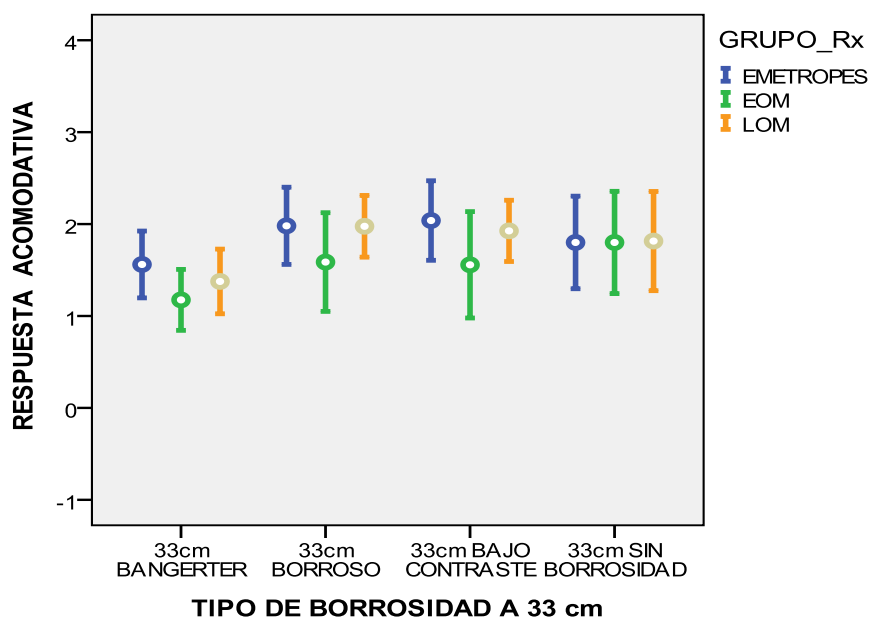
Gráfica 7: Respuesta acomodativa media en función del tipo de estimulación borrosa a 33 cm ( $\pm 2$  SE).

Como se observa en la tabla 8, existe una disminución de la respuesta acomodativa con los filtros de Bangerter comparado con el resto de condiciones (tabla 6 anexo 1).

	Media	se
33 cm sin borrosidad	1,804062354	$\pm 0,152244799$
33 cm Bangerter	1,340739791	$\pm 0,102226331$
33 cm borroso	1,827195108	$\pm 0,134445966$
33 cm bajo contraste	1,830129606	$\pm 0,138381003$

Tabla 8: Respuesta acomodativa media en función del tipo de estimulación borrosa a 33 cm.

Respecto al análisis según el grupo refractivo no existen diferencias estadísticamente significativas (ANOVA;  $p=0,184$ ) pero en el análisis descriptivo, la respuesta acomodativa vuelve a ser menor en el grupo de EOMs (gráfica 8) (tabla 7 anexo 1) que en emétropes y LOMs. Esto ocurre para todas las condiciones en las que existe cierta borrosidad, en cambio, no ocurre cuando el estímulo a 33 cm no es borroso (tabla 9).



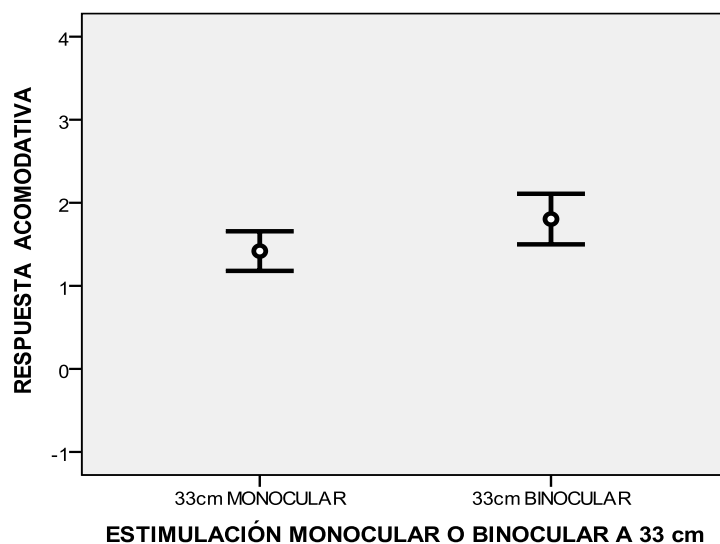
Gráfica 8: Respuesta acomodativa media en función de la borrosidad del estímulo y el grupo refractivo ( $\pm 2$  SE).

		Sin borrosidad	Bangerter	Borroso	Bajo contraste
EMM	Media	1,80009952	1,560644241	1,980961412	2,038548564
	se	$\pm 0,251865375$	$\pm 0,181790971$	$\pm 0,210047913$	$\pm 0,216348695$
EOM	Media	1,799976763	1,175241412	1,586685709	1,556848428
	se	$\pm 0,278228459$	$\pm 0,16573747$	$\pm 0,26848754$	$\pm 0,289429392$
LOM	Media	1,815134052	1,375883669	1,975708877	1,925992257
	se	$\pm 0,269832851$	$\pm 0,175935116$	$\pm 0,167966026$	$\pm 0,166611149$

Tabla 9: Análisis descriptivo de la respuesta acomodativa en función de la borrosidad del estímulo y el grupo refractivo.

#### 6.2.1.3 Respuesta acomodativa en función de la estimulación monocular o binocular a 33 cm:

Para esta condición los resultados mostraron una diferencia estadísticamente significativa entre la respuesta acomodativa registrada a 33 cm bajo condiciones monoculares y binoculares (ANOVA;  $p=0,05$ ). Dicha respuesta es significativamente mayor para la respuesta acomodativa en condiciones binoculares (gráfica 9 y tabla 10).

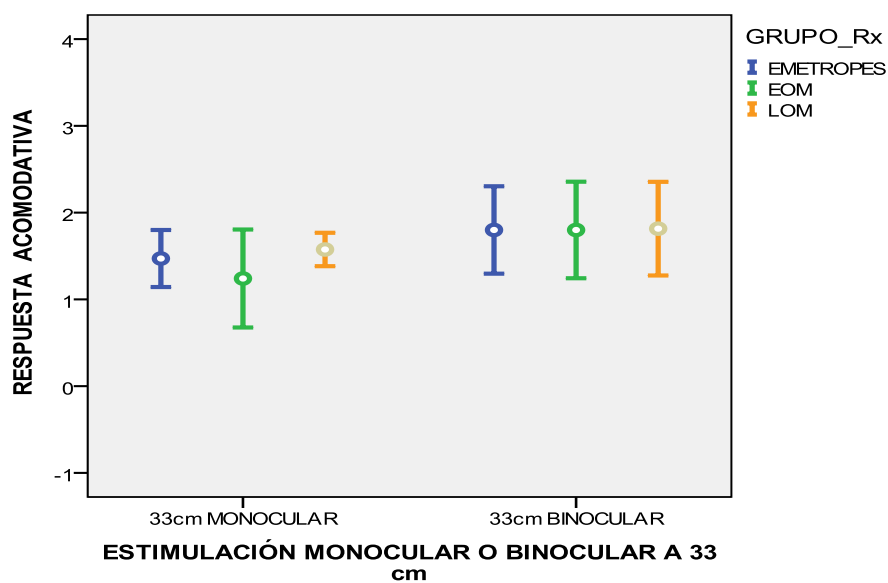


Gráfica 9: Respuesta acomodativa media en función de la estimulación monocular o binocular ( $\pm 2$  SE).

	Media	se
33 cm monocular	1,418494423	±0,119128158
33 cm binocular	1,804062354	±0,152244799

Tabla 10: Análisis descriptivo de la respuesta acomodativa media en función de la estimulación monocular o binocular.

El análisis de la respuesta acomodativa media a 33 cm en condiciones monoculares y binoculares no existen diferencias estadísticamente significativas entre los grupos refractivos estudiados (ANOVA;  $p = 0,812$ ) (tabla 11 y gráfica 10).



Gráfica 10: Respuesta acomodativa media en función de la estimulación monocular o binocular y el grupo refractivo ( $\pm 2$  SE)

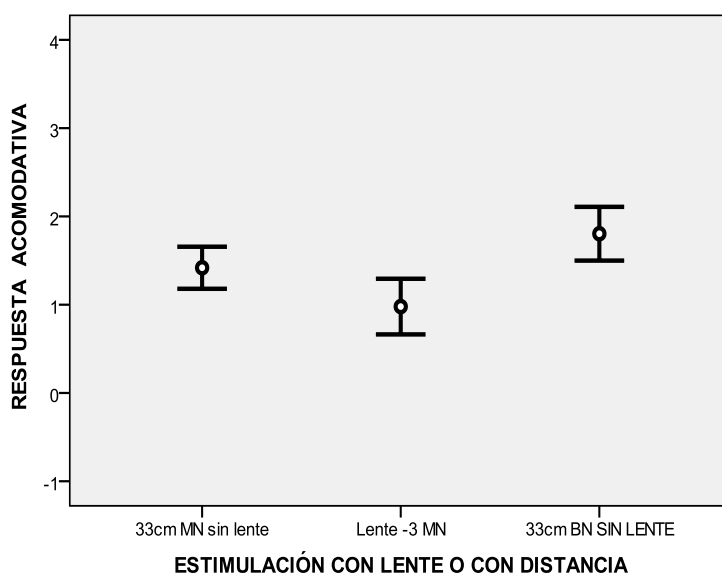


		33 cm monocular	33 cm binocular
EMM	Media	1,471022503	1,80009952
	se	±0,164337666	±0,251865375
EOM	Media	1,240662878	1,799976763
	se	±0,282281159	±0,278228459
LOM	Media	1,575123755	1,815134052
	se	±0,096249866	±0,269832851

Tabla 11: Análisis descriptivo de la respuesta acomodativa media en función de la estimulación monocular o binocular y el grupo refractivo.

#### 6.2.1.4 Respuesta acomodativa en función de la estimulación con lente negativa o con distancias:

El análisis de varianza indica que existen diferencias significativas entre las distintas condiciones (ANOVA,  $p=0,002$ ) (gráfica 11 y tabla 12). La respuesta acomodativa a través de una lente negativa de -3 D es significativamente inferior (post-hoc DMS;  $p<0,001$ ) a la respuesta binocular sin lente a 33 cm, pero no llega a serlo (post-hoc DMS,  $p=0,080$ ) comparada con condición monocular sin lente (tabla 8 anexo1).



Gráfica 11: Respuesta acomodativa media en función de la estimulación con lente negativa de -3 D o con distancia (33cm) ( $\pm 2$  SE).

Cuando el mismo análisis se realiza en función del grupo refractivo no se aprecian interacciones (ANOVA;  $p=0,928$ ), si bien el grupo EMM (emétrope) muestra la menor respuesta acomodativa para la estimulación con la lente de -3 dioptrías de manera monocular (gráfica 10, tabla 13).

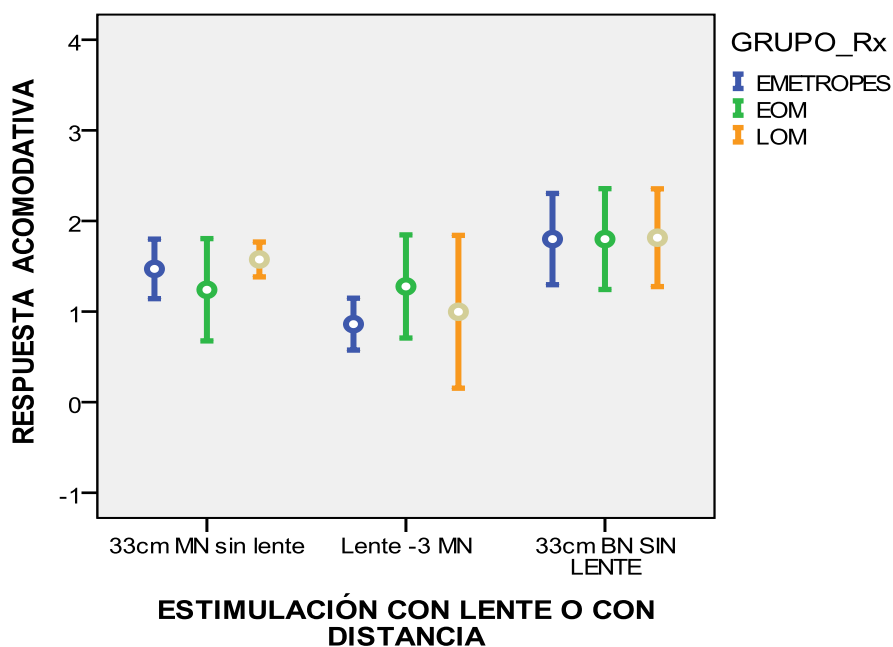
	Media	se
33 cm binocular sin lente	1,804062354	±0,152244799
33 cm monocular sin lente	1,418494423	±0,119128158
Monocular lente -3 D	1,048669281	±0,163666167

Tabla 12: Análisis descriptivo de la respuesta acomodativa media en función de la estimulación con lente negativa o con distancias (tabla 9 anexo 1).

La comparación entre los distintos grupos refractivos no arroja ninguna interacción entre ellos (ANOVA;  $p= 0,928$ ) para ningún grupo y en ninguna condición. En la tabla 13 se observa que la menor respuesta acomodativa para la estimulación con la lente de -3 dioptrías de manera monocular se muestra en el grupo EMM (gráfica 12).

		33 cm binocular sin lente	33 cm monocular sin lente	Monocular lente -3 D
EMM	Media	1,80009952	1,471022503	0,807379872
	se	$\pm 0,251865375$	$\pm 0,164337666$	$\pm 0,14431349$
EOM	Media	1,799976763	1,240662878	1,126871823
	se	$\pm 0,278228459$	$\pm 0,282281159$	$\pm 0,270408042$
LOM	Media	1,815134052	1,575123755	0,997434239
	se	$\pm 0,269832851$	$\pm 0,096249866$	$\pm 0,421681027$

Tabla 13: Análisis descriptivo de la respuesta acomodativa media para un estímulo acomodativo de 3 D, originado mediante la estimulación con lente negativa o a 33 cm (mono y binocularmente) en función del grupo refractivo.



Gráfica 12: Respuesta acomodativa media en función de la estimulación con lente negativa o con distancia y el grupo refractivo ( $\pm 2$  SE).

## 6.2.2 ANÁLISIS DE LAS MICROFLUCTUACIONES DE LA ACOMODACION

### 6.2.2.1 RMS:

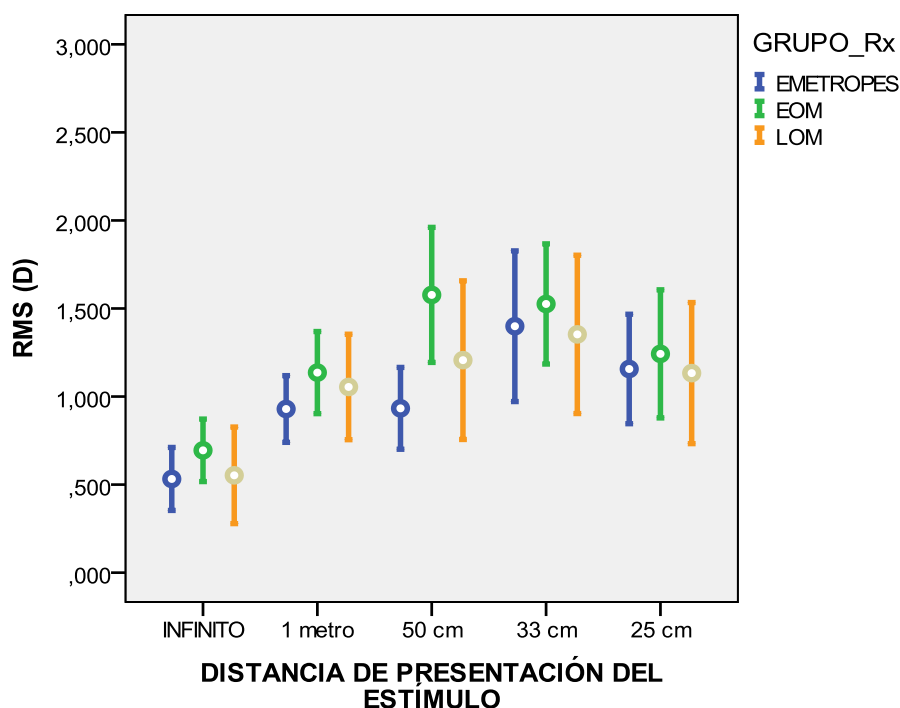
#### a) *Análisis RMS en función de la distancia:*

Existe un incremento estadísticamente significativo del RMS cuando aumenta el estímulo acomodativo (ANOVA;  $p < 0,001$ ) (tabla 9 anexo 1). Post-hoc tests (DMS) muestran una significación estadística para los estímulos que se encuentran más alejados entre sí (tabla 14).

	Infinito	1 metro	50 cm	33 cm	25 cm
Infinito		0,001	0,000*	0,000*	0,000*
1 metro	0,001		0,114	0,003	0,281
50 cm	0,000*	0,114		0,159	0,612
33 cm	0,000*	0,003	0,159		0,056
25 cm	0,000*	0,281	0,612	0,056	

Tabla 14: Análisis post-hoc de las diferencias estadísticas entre las distintas distancias. \*  $p < 0,001$

En la tabla 15 se muestran los valores RMS para los distintos grupos refractivos en función de la distancia de observación del estímulo (gráfica 13). En el análisis de varianza se aprecia que el incremento del RMS se produce en todos los grupos refractivos, tanto en emétopes ( $p = 0,001$ ) como en EOMs (ANOVA;  $p < 0,01$ ) y en LOMs (ANOVA;  $p = 0,050$ ) existiendo unas mayores microfluctuaciones en los sujetos EOMs (tabla 10 anexo 1). Por otra parte también se observa que sólo existen diferencias estadísticamente significativas entre emétopes y EOM a 50 cm (post-hoc;  $p = 0,010$ ) (tabla 11 anexo 1).



Gráfica 13: Valor de RMS en función de la distancia y el grupo refractivo ( $\pm 2$  SE).

		Infinito	1 metro	50 cm	33 cm	25 cm
EMM	Media	0,53210142	0,929353335	0,933010127	1,39937642	1,15654083
	se	±0,08942982	±0,094718288	±0,116214697	±0,2139588	±0,15543344
EOM	Media	0,69461640	1,136015964	1,577217416	1,5257589	1,24238687
	se	±0,08875050	±0,116630722	±0,191714717	±0,1706465	±0,18194353
LOM	Media	0,55267378	1,054477487	1,206728259	1,35307034	1,13314762
	se	±0,13714819	±0,149756233	±0,225252088	±0,22482132	±0,2003504

Tabla 15: Análisis descriptivo de la RMS en función de la distancia de observación del estímulo y el grupo refractivo.

Las gráficas de la figura 9 muestran las microfluctuaciones de la acomodación de un sujeto en función de la distancia de presentación del estímulo acomodativo. En el eje X se encuentra representado el tiempo de medida (ms) y en el eje Y la variación de la respuesta de la acomodación. Se observa como a medida que la demanda acomodativa es mayor, es decir, el estímulo se sitúa mas cerca del sujeto, las microfluctuaciones de la acomodación son mayores hasta estabilizarse a partir de 33 cm tal y como muestra el análisis descriptivo de las RMS (tabla 9 anexo 1).

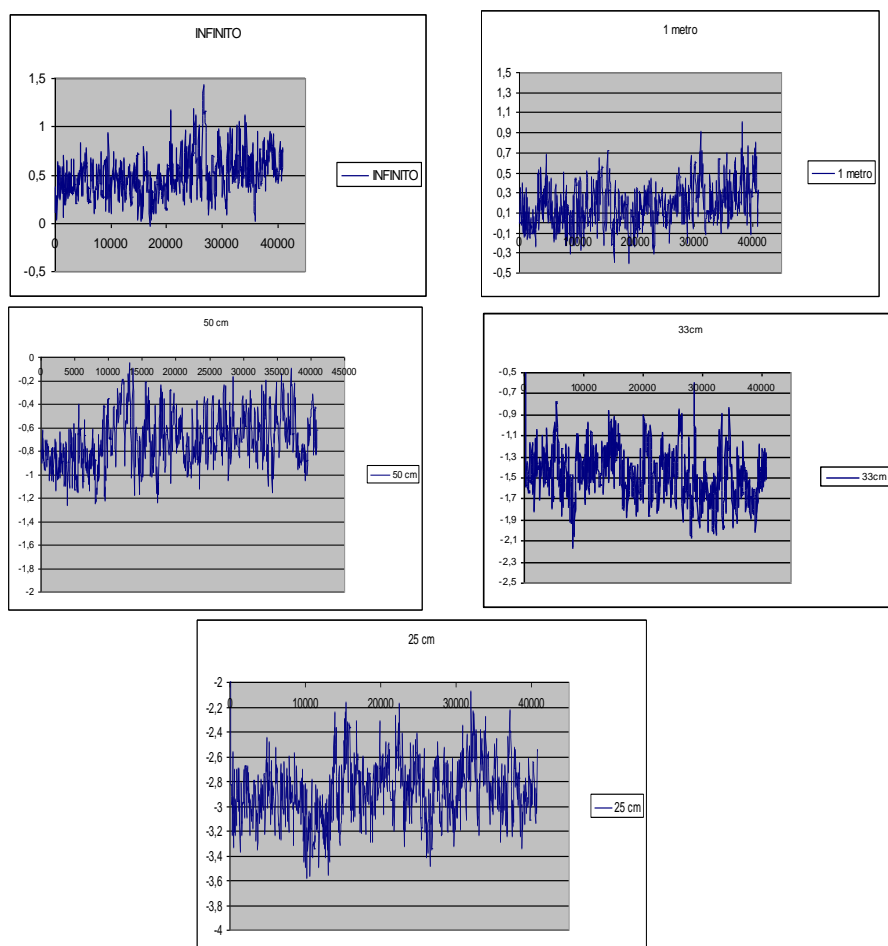
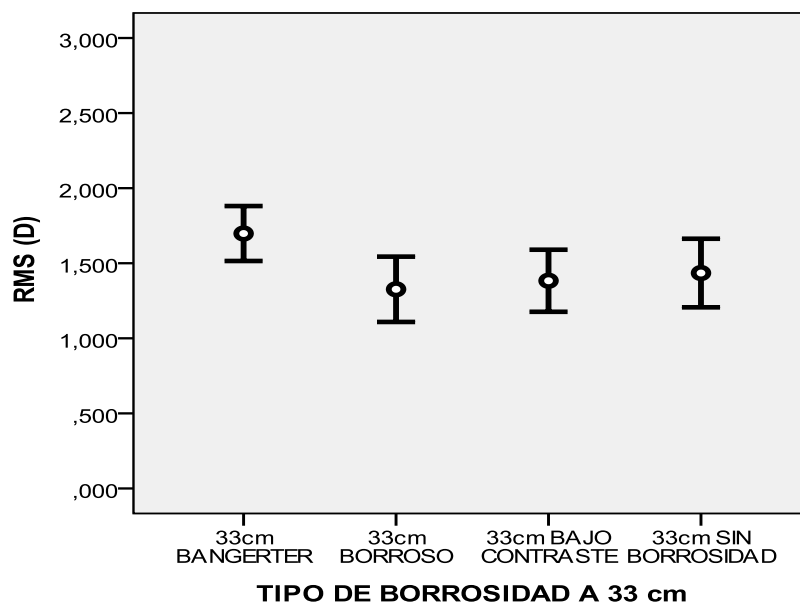


Figura 9: Respuesta acomodativa de un sujeto en función de las distancias. Las variaciones en la respuesta acomodativa muestran las fluctuaciones que sufre la acomodación.

b) *Análisis RMS en función de la borrosidad del estímulo:*

El análisis descriptivo de la RMS en función de la borrosidad (tabla 16 y gráfica 14) (ANOVA;  $p=0,180$ ) muestra una RMS de las microfluctuaciones mayor con el filtro de Bangerter con respecto al resto de condiciones, aunque este aumento no muestra significancia estadística (ANOVA;  $p=0,180$ ).



Gráfica 14: Valor RMS en función del tipo de borrosidad a 33 cm ( $\pm 2$  SE).

	Media	se
33 cm sin borrosidad	1,43477262540	$\pm 0,1141952546$
33 cm Bangerter	1,69791560116	$\pm 0,0915052912$
33 cm borroso	1,32648100493	$\pm 0,1087458533$
33 cm bajo contraste	1,38339452091	$\pm 0,1033577339$

Tabla 16: Análisis descriptivo de la RMS en función del tipo de borrosidad a 33 cm

El estudio comparativo entre los distintos grupos refractivos, no muestra interacción al comparar entre todos ellos (ANOVA;  $p=0,061$ ) (tabla 17 y gráfica 15). El análisis post-hoc sin embargo sí muestra un aumento significativo de las microfluctuaciones en el grupo EOM con respecto a EMM (post-hoc DMS;  $p=0,040$ ) y LOMs (post-hoc DMS;  $p=0,048$ ) (tabla 12 anexo 1).

		Sin borrosidad	Bangerter	Borroso	Bajo contraste
EMM	Media	1,39937642144	1,54305854300	1,25721585480	1,23191902740
	se	$\pm 0,2139588741$	$\pm 0,1824730669$	$\pm 0,1181155578$	$\pm 0,1225064099$
EOM	Media	1,52575889971	1,78039318920	1,53607608341	1,62913836069
	se	$\pm 0,1706465916$	$\pm 0,1377980478$	$\pm 0,2359124423$	$\pm 0,2308012770$
LOM	Media	1,35307034208	1,73031854200	1,11613608142	1,25571997985
	se	$\pm 0,2248213234$	$\pm 0,1728048072$	$\pm 0,1496609943$	$\pm 0,1328513023$

Tabla 17: Análisis descriptivo de las RMS en función del tipo de borrosidad a 33 cm y el grupo refractivo.

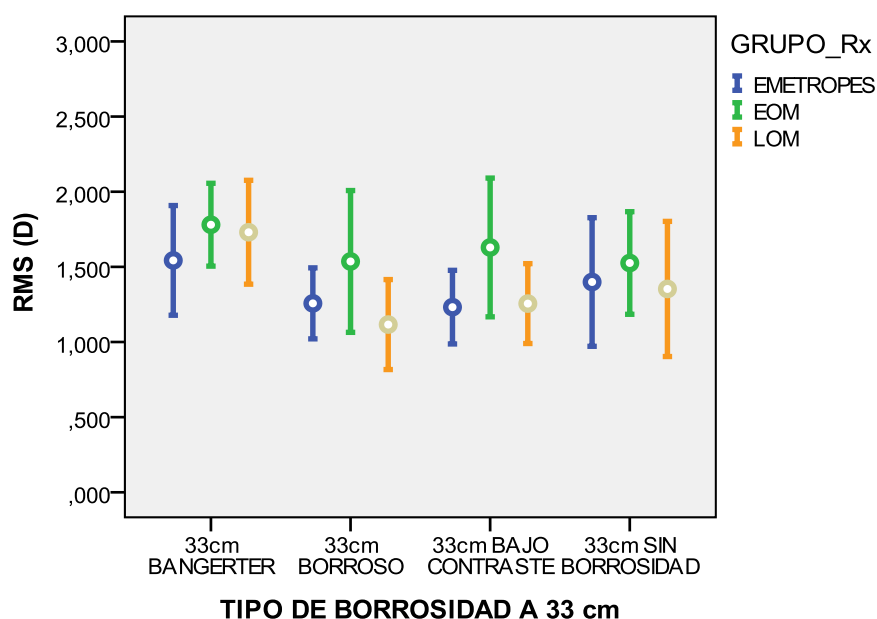
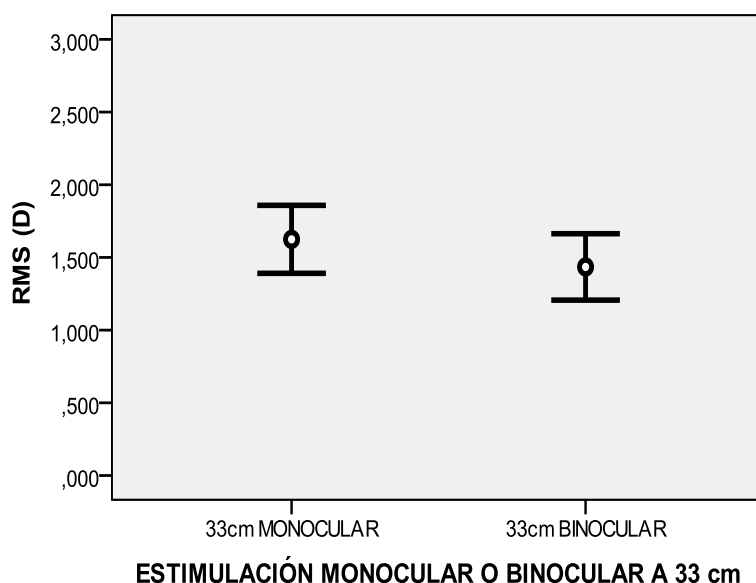


Gráfico 15: RMS en función de la borrosidad del estímulo y del grupo refractivo ( $\pm 2$  SE).

c) *Análisis RMS en función de la estimulación monocular o binocular:*

No existen diferencias estadísticamente significativas en el RMS entre la estimulación monocular o binocular a 33 cm (ANOVA;  $p=0,249$ ), ni tampoco entre los distintos grupos refractivos comparando ambas (ANOVA;  $p=0,406$ ) ni en cada una de las condiciones por separado (33 cm binocular, ANOVA;  $p=0,821$ ; 33 cm monocular, ANOVA;  $p=0,422$ ). El análisis descriptivo muestra que el RMS es mayor cuando la estimulación es monocular (tabla 18 y gráfica 16) y también es mayor en los sujetos EOMs (tabla 19 y gráfica 17).



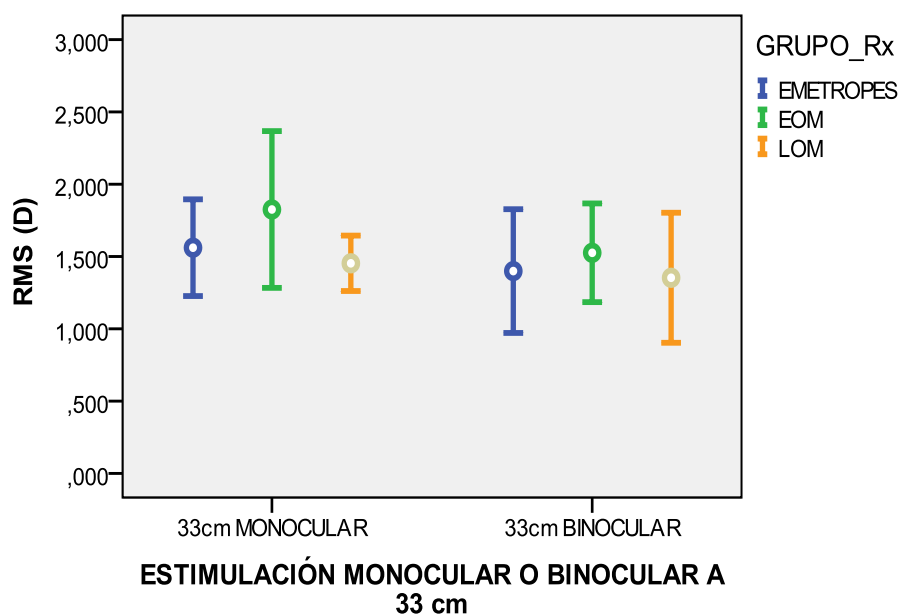
Gráfica 16: RMS en función de la estimulación monocular o binocular ( $\pm 2$  SE).

	Media	se
33 cm monocular	1,62456453298	$\pm 0,11689146660$
33 cm binocular	1,43477262540	$\pm 0,11419525465$

Tabla 18: Análisis descriptivo de la RMS en función de la estimulación monocular o binocular.

		33 cm monocular	33 cm binocular
EMM	Media	1,5610272923	1,3993764214
	se	±0,167216515	±0,213958874
EOM	Media	1,8252372723	1,5257588997
	se	±0,271044568	±0,170646591
LOM	Media	1,4531451595	1,3530703420
	se	±0,095820314	±0,224821323

Tabla 19: Análisis descriptivo de la RMS en función de la estimulación monocular o binocular y el grupo refractivo.



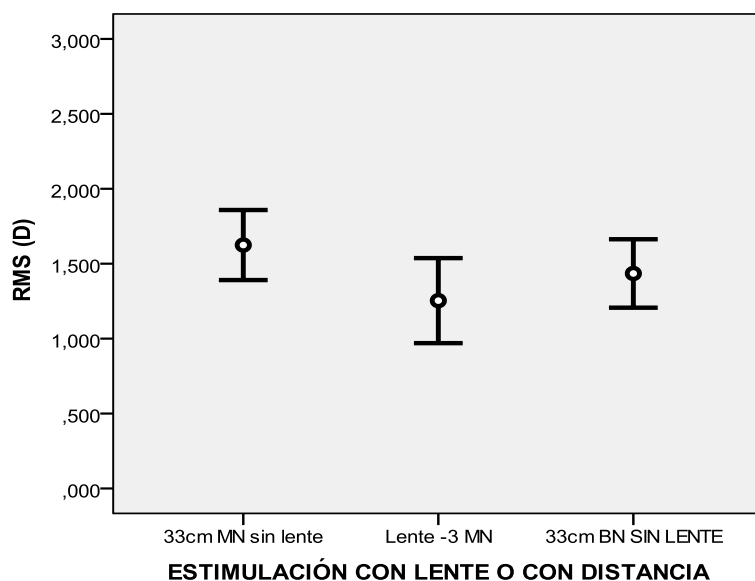
Gráfica 17: RMS en función de la estimulación monocular o binocular y el grupo refractivo.

d) *Análisis RMS en función de la estimulación con lentes o con distancias:*

Post-hoc tests para el análisis entre las condiciones de la respuesta acomodativa para estímulos a 33 cm mono y binocular y con lente de -3 dioptrías muestran diferencias significativas entre la estimulación monocular sin lente y la estimulación con lente de -3 dioptrías (post-hoc DMS;  $p=0,039$ ) (tabla13 anexo 1), siendo mayor el RMS en la estimulación monocular sin lente (tabla 20 y gráfica 18).

	Media	se
33 cm binocular sin lente	1,43477262540	±0,114195254
33 cm monocular sin lente	1,62456453298	±0,116891466
Monocular lente -3 D	1,25351954183	±0,141895393

Tabla 20: Análisis descriptivo de la RMS en función de la estimuación con lente negativa o con distancia.

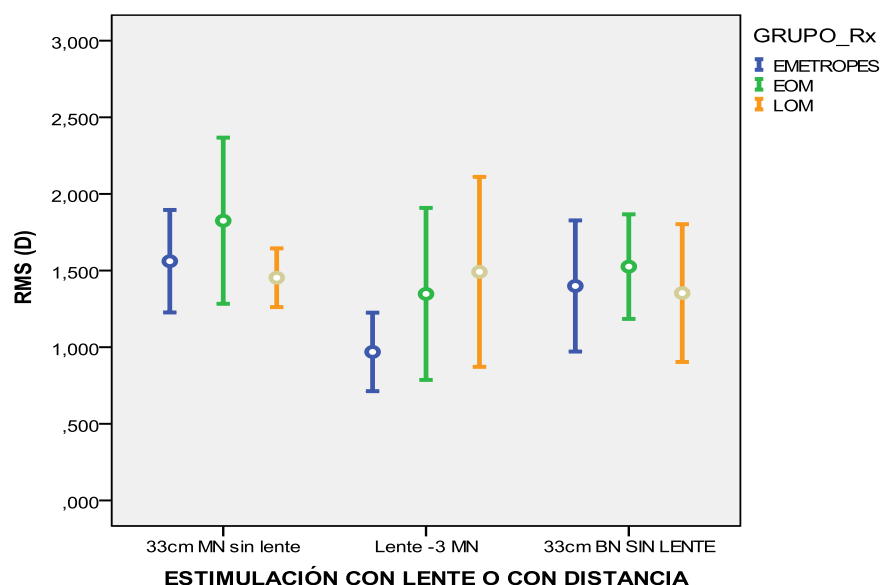


Gráfica 18: RMS en función de la estimulación con lente negativa o con distancia (33cm) ( $\pm 2$  SE).

El análisis entre grupos refractivos no muestra diferencias significativas (ANOVA;  $p = 0,338$ ) (tabla 21 y gráfica 19).

		33 cm binocular sin lente	33 cm monocular sin lente	Monocular lente -3 D
EMM	Media	1,80009952	1,471022503	0,96913856987
	se	$\pm 0,251865375$	$\pm 0,164337666$	$\pm 0,1280292569$
EOM	Media	1,799976763	1,240662878	1,34757717467
	se	$\pm 0,278228459$	$\pm 0,282281159$	$\pm 0,2805836617$
LOM	Media	1,815134052	1,575123755	1,49142371575
	se	$\pm 0,269832851$	$\pm 0,096249866$	$\pm 0,3098310216$

Tabla 21: Análisis descriptivo de la RMS en función de la estimulación con lente negativa o con distancias y el grupo refractivo.



Gráfica 19: RMS en función de la estimulación acomodativa con o sin lentes negativas y el grupo refractivo ( $\pm 2$  SE).

#### 6.2.2.2 ANÁLISIS DE LAS FRECUENCIAS DE LAS MICROFLUCTUACIONES DE LA ACOMODACIÓN:

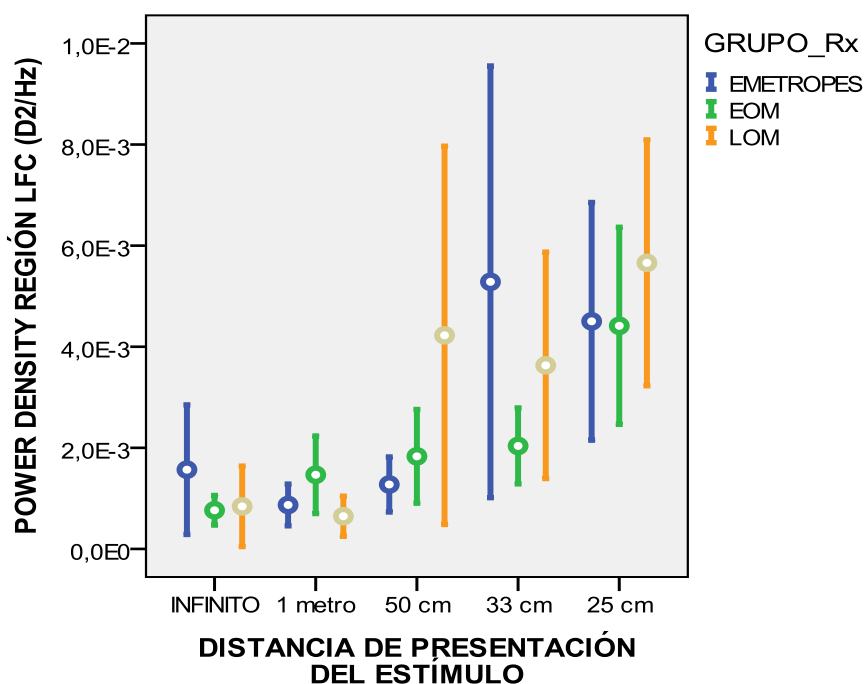


a) *Análisis de las frecuencias en función de la distancia:*

- LFC:

Los LFC (componentes de baja frecuencia) muestran diferencias significativas cuando se analiza en función de la distancia de presentación del estímulo acomodativo (ANOVA;  $p < 0,001$ ). Las microfluctuaciones aumentan significativamente cuando disminuye la distancia, es decir, cuando aumenta el estímulo acomodativo (tabla 22 y gráfica 20). De la misma manera que ocurría al analizar las RMS, las diferencias significativas se encuentran fundamentalmente al comparar los estímulos más alejados entre sí (tabla 23).

Un análisis detallado entre grupos refractivos, únicamente muestra una diferencia estadísticamente significativa en esta región (LFC) entre emétropes y LOMs a 50 cm (post-hoc DMS;  $p = 0,037$ ) (tabla 14 anexo 1)



Gráfica 20: Microfluctuaciones de la acomodación de la región LFC en función de la distancia y el grupo refractivo ( $\pm 2$  SE).

El incremento en las microfluctuaciones de esta región cuando aumenta el estímulo acomodativo es significativo tanto para EMMs (ANOVA;  $p = 0,017$ ), EOMs (ANOVA;  $p < 0,001$ ) y LOMs (ANOVA;  $p = 0,009$ ). El incremento de las microfluctuaciones en LFC es mayor en el grupo EMM y LOM entre el infinito y 33 cm, mientras que el mayor incremento en el grupo EOMs se experimenta cuando el estímulo acomodativo pasa de 33 a 25 cm (tabla 22).

		Infinito	1 metro	50 cm	33 cm	25 cm
EMM	Media	,00156793488	,00087015994	,00127502531	,00528408838	,00450272438
	se	±,0006409294	±,0002066496	±,0002725007	±,0021350869	±,0011758096
EOM	Media	,00076479259	,00146721806	,00183171235	,00203797424	,00441430576
	se	±,0001466798	±,0003839055	±,0004637577	±,0003757564	±,0009749379
LOM	Media	,00084245825	,00064740575	,00422582633	,00363186117	,00565950442
	se	±,0003981231	±,0001987173	±,0018707224	±,0011198930	±,0012162403

Tabla 22: Análisis descriptivo de las microfluctuaciones de la acomodación en la región LFC en función de la distancia y el grupo refractivo.

	Infinito	1 metro	50 cm	33 cm	25 cm
Infinito		,964	0,123	,001	,000*
1 metro	,964		0,113	,001	,000*
50 cm	,123	,113		,084	,001
33 cm	,001	,001	,084		,136
25 cm	,000*	,000*	,001	,136	

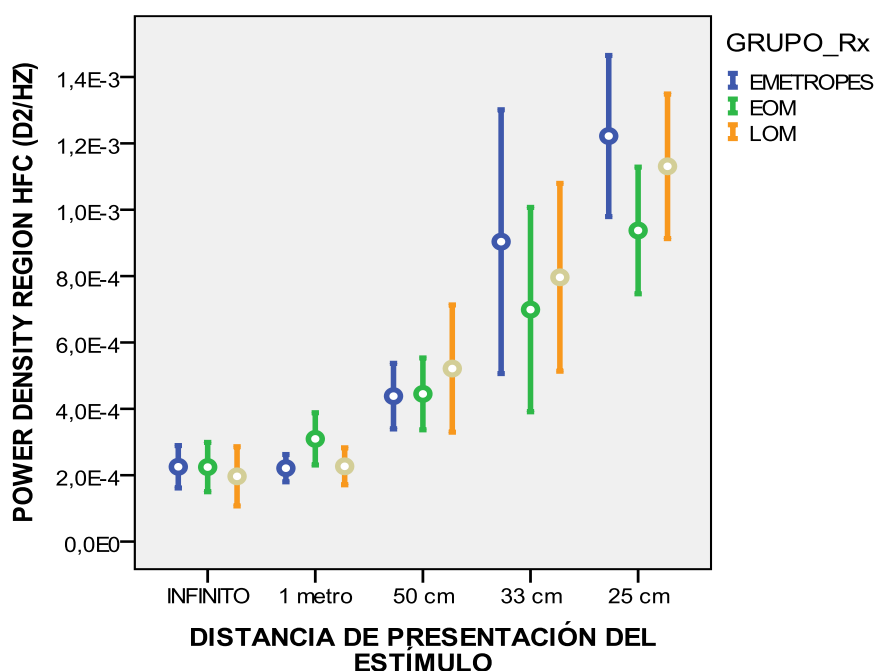
Tabla 23: Análisis post-hoc DMS que compara las significaciones estadísticas en función de la distancia. \*p<0,001

El aumento en las microfluctuaciones en esta región, no se aprecia únicamente en el valor de la amplitud integrada, sino también en la magnitud del pico máximo de la microfluctuación en dicha región (figura 10).

- HFC:

Los HFC (componentes de alta frecuencia) muestran diferencias significativas cuando se analiza en función de la distancia de presentación del estímulo acomodativo (ANOVA; p<0,001).

Las microfluctuaciones aumentan significativamente cuando disminuye la distancia, es decir, cuando aumenta el estímulo acomodativo (tabla 15 anexo1).



Gráfica 21: Microfluctuaciones de la acomodación en la región HFC en función de la distancia y el grupo refractivo (± 2 SE).

No existen diferencias estadísticamente significativas en esta región entre los distintos grupos refractivos (ANOVA;  $p=0,594$ ).

El análisis detallado entre grupos refractivos, muestra una única diferencia estadísticamente significativa en dicha región entre el grupo de sujetos emétopes y EOMs a 1 metro de distancia (post-hoc DMS;  $p=0,044$ ) (tabla 16 anexo 1).

Nuevamente, el incremento en las microfluctuaciones de esta región cuando aumenta el estímulo acomodativo es significativo en EMMs, EOMs y LOMs (ANOVA;  $p<0,001$ ). El incremento de las microfluctuaciones en HFC a medida que aumenta el estímulo acomodativo es igual de progresivo para los tres grupos refractivos (gráfica 21), sin embargo, las menores microfluctuaciones en esta región se producen en el grupo EOMs (tabla 24).

		Infinito	1 metro	50 cm	33 cm	25 cm
EMM	Media	,00022539606	,00022122563	,00043829350	,00090378931	,00122210756
	se	±,0000319626	±,0000205692	±,0000494668	±,0001987449	±,0001213883
EOM	Media	,00022450071	,00030952512	,00044506453	,00069907582	,00093754829
	se	±,0000371790	±,0000393861	±,0000541386	±,0001540060	±,0000954469
LOM	Media	,00019663383	,00022683767	,00052142100	,00079638500	,00113088517
	se	±,0000446255	±,0000278593	±,0000958570	±,0001415114	±,0001089506

Tabla 24: Análisis descriptivo de las microfluctuaciones de la acomodación en la región HFC en función de la distancia y el grupo refractivo.

A modo de ejemplo, las gráficas de la figura 10 muestran las microfluctuaciones de la acomodación entre 0-3 Hz de un sujeto, en función de la distancia de presentación del estímulo acomodativo. En el eje X se encuentra representada las frecuencias de las microfluctuaciones y en el eje Y la power density de las microfluctuaciones de la acomodación. Se observa que el pico máximo en la región de las bajas frecuencias (LFC entre 0,1-0,6 Hz) aumenta a medida que aumenta la demanda acomodativa, haciendo que la amplitud integrada, es decir, la magnitud de las microfluctuaciones aumente. Este aumento en el pico máximo es mucho menos visible (aunque también es significativo el aumento de la amplitud integrada;  $p<0,001$ ) en la región de altas frecuencias (HFC) entre 1-2,3 Hz.

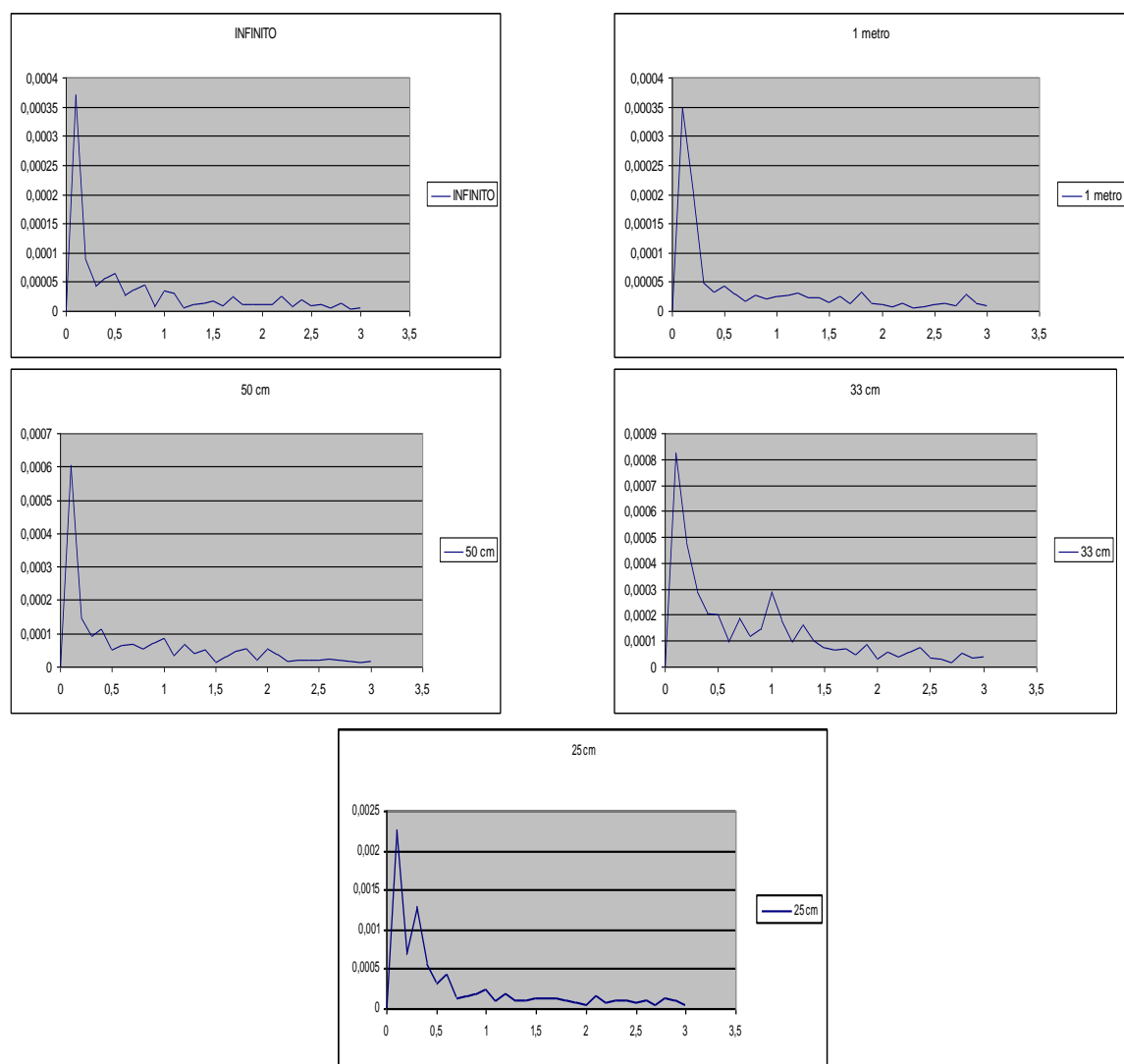


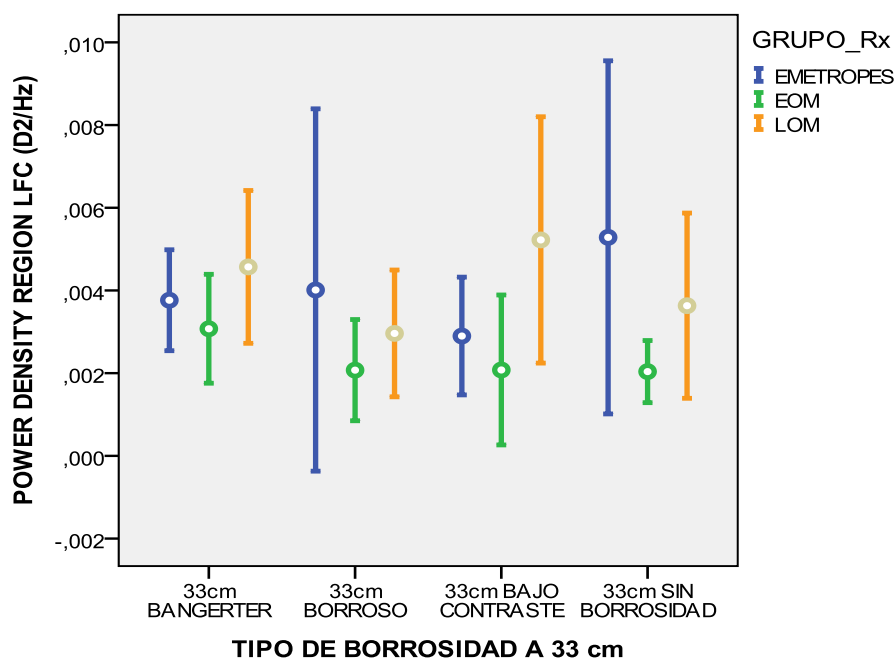
Figura 10: Ejemplo de las variaciones de las microfluctuaciones de la acomodación entre 0-3 Hz en un sujeto, para las distintas distancias de presentación del estímulo acomodativo.

*b) Análisis de las frecuencias en función de la borrosidad:*

- LFC:

No existen diferencias estadísticamente significativas al comparar las distintas condiciones de borrosidad (ANOVA;  $p = 0,896$ ) (gráfica 22). Al analizar esta condición en función del grupo refractivo, no se observa ninguna diferencia significativa en las LFC (ANOVA;  $p = 0,58$ ) (tabla 25).

Post-hoc tests indican un aumento significativo de las microfluctuaciones de la acomodación con el estímulo de bajo contraste, en esta región, para los sujetos con miopía de aparición tardía (LOMs) respecto a los sujetos con miopía de aparición temprana (EOMs) (post-hoc DMS;  $p = 0,040$ ) (tabla 17 anexo 1).



Gráfica 22: Microfluctuaciones de la acomodación en la región LFC en función del tipo de borrosidad a 33 cm y el grupo refractivo ( $\pm 2$  SE).

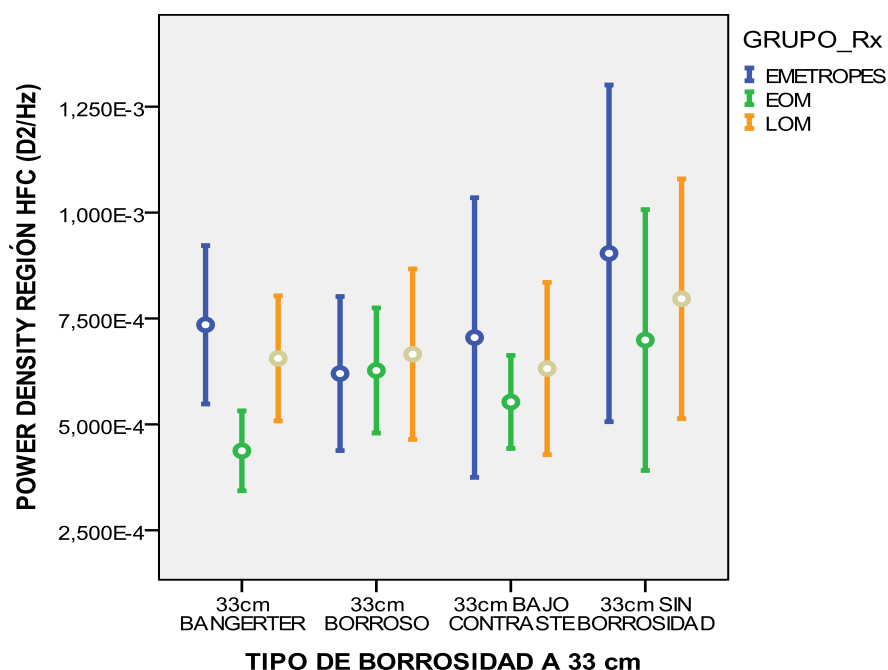
		Sin borrosidad	Bangerter	Borroso	Bajo contraste
EMM	Media	,00528408838	,00376367857	,00401135913	,00289833973
	se	$\pm$ ,0021350869	$\pm$ ,0006102624	$\pm$ ,0021906495	$\pm$ ,0007120048
EOM	Media	,00203797424	,00307392040	,00207285635	,00207738869
	se	$\pm$ ,0003757564	$\pm$ ,0006584596	$\pm$ ,0006120308	$\pm$ ,0009065621
LOM	Media	,00363186117	,00456962638	,00296101900	,00522230285
	se	$\pm$ ,0011198930	$\pm$ ,0009239442	$\pm$ ,0007667105	$\pm$ ,0014893652

Tabla 25: Análisis descriptivo de las microfluctuaciones de la acomodación en la región LFC en función del tipo de borrosidad a 33 cm y el grupo refractivo.

- HFC:

Tras realizar el mismo análisis en la región de las altas frecuencias (HFC), no se comprobaron diferencias estadísticamente significativas entre dichas condiciones (ANOVA;  $p = 0,194$ ) (gráfica 23).

Post-hoc tests indican unas microfluctuaciones significativamente inferiores en los sujetos EOMs con el filtro de Bangerter (tabla 18 anexo 1) con respecto a LOMs (post-hoc DMS;  $p = 0,031$ ) y los sujetos emétropes (post-hoc DMs;  $p = 0,006$ ) (tabla 26).



Gráfica 23: Microfluctuaciones de la acomodación en la región HFC en función del tipo de borrosidad a 33 cm y el grupo refractivo ( $\pm 2$  SE).

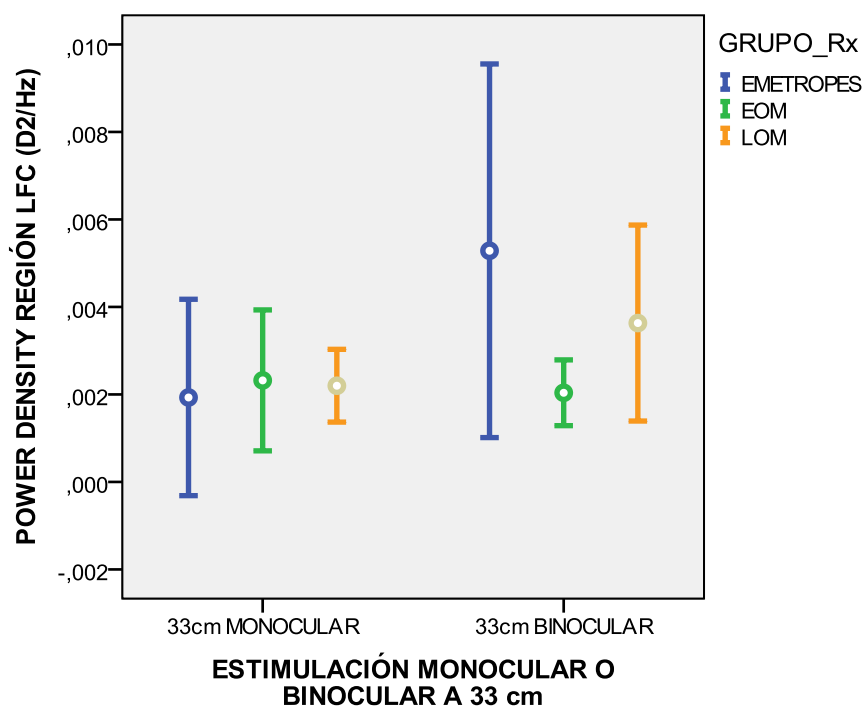
		Sin borrosidad	Bangerter	Borroso	Bajo contraste
EMM	Media	,00090378931	,00073514671	,00062001220	,00070494667
	se	$\pm$ ,0001987449	$\pm$ ,0000935045	$\pm$ ,0000909372	$\pm$ ,0001650578
EOM	Media	,00069907582	,00043752650	,00062720006	,00055293100
	se	$\pm$ ,0001540060	$\pm$ ,0000471840	$\pm$ ,0000738865	$\pm$ ,0000549038
LOM	Media	,00079638500	,00065569887	,00066572575	,00063179500
	se	$\pm$ ,0001415114	$\pm$ ,0000738292	$\pm$ ,0001006472	$\pm$ ,0001016477

Tabla 26: Análisis descriptivo de las microfluctuaciones de la acomodación en la región HFC en función de la borrosidad a 33 cm y el grupo refractivo.

c) Análisis de las frecuencias en función de la estimulación monocular o binocular:

- LFC:

No se aprecian diferencias estadísticamente significativas al comparar las estimulación monocular y binocular a 33 cm (ANOVA;  $p = 0,141$ ). Tampoco aparecen diferencias al comparar los distintos grupos refractivos (gráfica 24) entre las dos condiciones (ANOVA;  $p = 0,450$ ) ni en cada una de las condiciones por separado (33 cm binocular, ANOVA;  $p = 0,257$ , 33 cm monocular, ANOVA;  $p = 0,947$ ).



Gráfica 24: Microfluctuaciones de la acomodación en la región LFC en función de la estimulación monocular o binocular y el grupo refractivo ( $\pm 2$  SE).

En la tabla 27 se puede observar un aumento en las microfluctuaciones de la región LFC cuando la estimulación es binocular.

	Media	se
<b>33 cm monocular</b>	<b>,00214693760</b>	<b><math>\pm</math>,0004966430</b>
<b>33 cm binocular</b>	<b>,00361718467</b>	<b><math>\pm</math>,0008363197</b>

Tabla 27: Análisis descriptivo de las microfluctuaciones de la acomodación en la región LFC en función de la estimulación monocular o binocular.

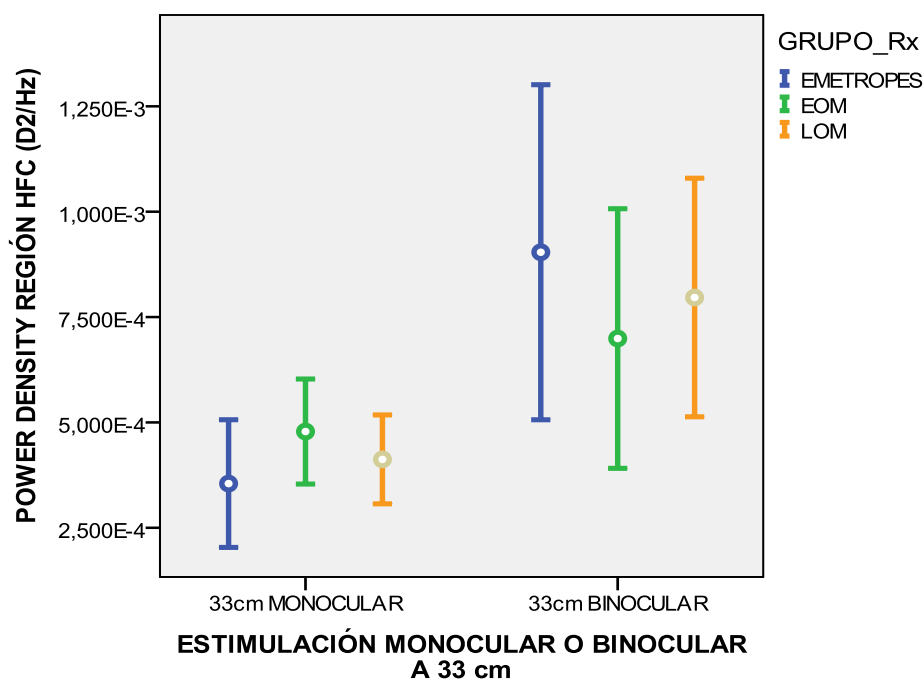
- HFC:

Por el contrario el análisis de la región de las altas frecuencias sí muestra una significación estadística al comparar ambas condiciones (ANOVA;  $p= 0,001$ ). Esta diferencia se muestra tanto en emétopes (ANOVA;  $p= 0,018$ ) como en LOMs (ANOVA;  $p= 0,019$ ). Como ocurría en la región de las bajas frecuencias, las microfluctuaciones en esta región son mayores en la estimulación binocular que en la monocular (tabla 28).

	Media	se
<b>33 cm monocular</b>	<b>,00041540555</b>	<b><math>\pm</math>,0000381117</b>
<b>33 cm binocular</b>	<b>,00079781196</b>	<b><math>\pm</math>,0000977524</b>

Tabla 28: Análisis descriptivo de las microfluctuaciones de la acomodación en la región HFC en función de la estimulación monocular o binocular.

El análisis de las diferencias entre grupos refractivos (gráfica 25) no muestra ninguna significancia entre ellos (ANOVA;  $p= 0,948$ ).



Gráfica 25: Microfluctuaciones de la acomodación en función de la estimulación monocular o binocular en la región HFC a 33 cm y el grupo refractivo ( $\pm 2$  SE).

d) *Análisis de las frecuencias en función de la estimulación con lentes o con distancias:*

- LFC:

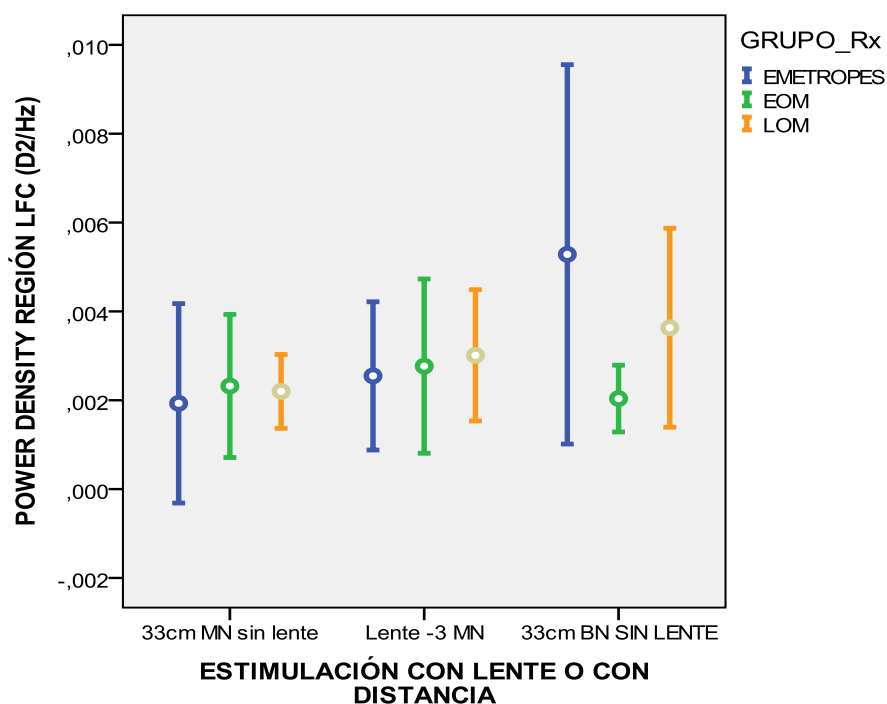
Las diferencias existentes entre la estimulación monocular y binocular a 33 cm y la estimulación de la acomodación con una lente negativa de -3 dioptrías (tabla 29) no muestran interacción (ANOVA;  $p= 0,265$ ). El análisis detallado corrobora estos datos ya que el análisis post-hoc tampoco arroja diferencias (tabla 19 anexo 1).

	Media	se
33 cm binocular sin lente	,00361718467	$\pm,0008363197$
33 cm monocular sin lente	,00214693760	$\pm,0004966430$
Monocular lente -3 D	,00275930619	$\pm,0004948692$

Tabla 29: Análisis descriptivo de las microfluctuaciones de la acomodación de la región LFC en función de la estimulación con lente negativa o con distancia.

Algo similar ocurre cuando comparamos las distintas estimulaciones en función del grupo refractivo (gráfica 26) (ANOVA;  $p= 0,561$ ) y al comparar cada una de las condiciones según el grupo refractivo (para todas ellas ANOVA;  $p>0,05$ ).





Gráfica 26: Microfluctuaciones de la acomodación en la región LFC en función de la estimulación con lente negativa o con distancia y el grupo refractivo.

- HFC:

En esta región, el aumento de las microfluctuaciones de la acomodación cuando esta se estimula de manera monocular sin lente (tabla 30) es estadísticamente significativa con respecto a la estimulación binocular a 33 cm sin lentes (ANOVA; post-hoc DMS;  $p=0,06$ ) y a la estimulación monocular con lente negativa de -3 dioptrías (ANOVA; post-hoc DMS;  $p<0,001$ ) (tabla 20 anexo 1). Esta diferencia se hace significativa en emétopes (ANOVA;  $p=0,010$ ) y en LOMs (ANOVA;  $p=0,035$ ).

	Media	se
33 cm binocular sin lente	,00079781196	$\pm,0000977524$
33 cm monocular sin lente	,00041540555	$\pm,0000381117$
Monocular lente -3 D	,00102970010	$\pm,0001301097$

Tabla 30: Análisis descriptivo de las microfluctuaciones de la acomodación en la región HFC en función de la estimulación con lente negativa o con distancia.

Sin embargo, al igual que ocurría en la región de las bajas frecuencias (LFC), no existen diferencias al comparar los distintos grupos refractivos (ANOVA;  $p=0,561$ ) ni tampoco al compararlos para cada una de las condiciones por separado.

## 6.3 RESUMEN DE RESULTADOS

- Características de la respuesta acomodativa en función de la magnitud del estímulo acomodativo:
  1. La respuesta acomodativa aumenta significativamente a medida que la demanda acomodativa aumenta, pero no existen diferencias significativas en función del grupo refractivo. En otras palabras, las respuestas acomodativas de los sujetos miopes tardíos, tempranos y emétopes no se diferencian de forma significativa. Aún así, podemos destacar que la respuesta acomodativa del grupo emétrope es significativamente mayor a la del grupo miope temprano para el estímulo situado a 50 cm.
  2. Las curvas estímulo-respuesta corroboran el resultado anterior ya que tanto los valores del gradiente (m) de la pendiente del modelo de regresión lineal como los coeficiente de regresión son similares en emétopes, miopes tardíos y miopes tempranos.
    - a. El gradiente de la pendiente es casi idéntico en los 3 grupos refractivos
    - b. Los coeficientes de regresión son muy similares en los tres grupos y tan solo se observa un valor ligeramente menor en el grupo de EOM lo que puede indicar una menor uniformidad en la respuesta de este grupo.
    - c. El valor de c, punto de intersección con el eje Y, en el grupo EOM es menor. Esto hace que, ante pendientes muy similares, la respuesta acomodativa sea inferior para todas las distancias.
  3. El índice de error,  $n$ , aumenta de forma significativa a medida que aumenta el estímulo acomodativo, lo que nos permite interpretar que cuanto mayor es el estímulo acomodativo mayor es la diferencia entre estímulo y respuesta acomodativa, pero no hay diferencias significativas entre los grupos refractivos.
- Características de la respuesta acomodativa a 33 cm en función de la borrosidad del estímulo acomodativo:
  4. La respuesta acomodativa para estímulos “borrosos” sólo presenta diferencias significativas con la respuesta para el mismo estímulo nítido (a 33 cm) cuando se utilizan filtros de Bangerter para simular borrosidad. En el resto de condiciones en que se provoca el deterioro de la calidad de la imagen, bien mediante reducción de la sensibilidad al contraste o mediante emborronamiento del optotipo no se encuentran diferencias significativas. El análisis en función del grupo refractivo en general no indica diferencias significativas. Aún así el grupo miope temprano (EOM) muestra unos resultados de respuesta acomodativa inferiores a los del grupos emétrope y miopes tardío en todas las condiciones de degradación de la imagen que no se aprecia para el estímulo sin borrosidad a 33 cm. para todas las condiciones. Esta diferencia es próxima a media dioptría lo que se puede considerar con relevancia clínica.
- Características de la respuesta acomodativa a 33 cm en función de la estimulación monocular o binocular
  5. La respuesta acomodativa en condiciones monoculares es significativamente menor que la respuesta en condiciones binoculares. No se encuentran diferencias significativas entre los grupos refractivos estudiados.
- Características de la respuesta acomodativa para un estímulo acomodativo de 3 D originado mediante lente negativa o a distancia próxima (33 cm), en condiciones mono y binoculares
  6. La respuesta acomodativa a través de una lente negativa de -3 D es significativamente inferior a la obtenida por estimulación binocular sin lente a 33 cm, pero no lo es al compararla con la estimulación monocular sin lente.

- Características de las microfluctuaciones de la respuesta acomodativa en función de la magnitud del estímulo acomodativo:
  7. Existe un incremento estadísticamente significativo de las microfluctuaciones de la acomodación cuando aumenta el estímulo acomodativo, tanto para la RMS, las microfluctuaciones de los componentes de baja frecuencia (LFC), como para las de alta frecuencia (HFC). En todos los casos las diferencias significativas se producen para las distancias de presentación de los estímulos más alejados entre sí.
  8. Las diferencias se encuentran en todos los grupos refractivos pero no hay diferencias entre ellos. Tan solo se detecta alguna diferencia significativa en alguna condición concreta pero sin marcar ninguna tendencia.
- Características de las microfluctuaciones de la respuesta acomodativa a 33 cm en función de la borrosidad del estímulo acomodativo:
  9. No hay diferencias significativas en las microfluctuaciones de la respuesta acomodativa a 33 cm en el RMS, los componentes LFC y HFC para las distintas condiciones de borrosidad del estímulo. El análisis respecto al grupo refractivo también indica que no hay diferencias significativas. Las únicas diferencias remarcables se encuentran en el grupo EOM ya que tanto en bajo contraste como con bangerter muestran un diferente comportamiento de fluctuaciones en HFC y LFC.
- Características de las microfluctuaciones de la respuesta acomodativa a 33 cm en función de la estimulación monocular o binocular
  10. No hay diferencias estadísticamente significativas en las microfluctuaciones de la respuesta acomodativa a 33 cm para estímulos mono o binoculares tanto en el RMS, como en la región de las bajas (LFC). Por el contrario, la región de altas frecuencias muestra aumento estadísticamente significativo en las microfluctuaciones de la respuesta binocular frente a la respuesta monocular. Este incremento en la región HFC es apreciable en los tres grupos refractivos aunque no hay diferencias significativas entre ellos.
- Características de las microfluctuaciones de la respuesta acomodativa para un estímulo acomodativo de 3 D originado mediante lente negativa o a distancia próxima (33 cm), en condiciones mono y binoculares
  11. Tanto la RMS como las microfluctuaciones en la región HFC son significativamente mayores en la estimulación monocular a 33 cm. Esto no ocurre para la región de bajas frecuencias (LFC) donde no hay diferencias significativas. No existen diferencias entre los distintos grupos refractivos.

## 7.DISCUSION Y CONCLUSIONES

La práctica clínica diaria nos proporciona información detallada de muchos aspectos básicos y fundamentales de la acomodación. Sin embargo, todos ellos son medidas que proporcionan información puntual y estática de la acomodación. La medida dinámica de la acomodación, en cambio, nos da idea del comportamiento real del sistema acomodativo durante un período continuo de esfuerzo y permite estudiar las variaciones o fluctuaciones de la respuesta acomodativa durante la fijación de un estímulo.

La borrosidad es el factor principal responsable de desencadenar la respuesta acomodativa. Cuando un estímulo se acerca se genera un desenfoque hipermetrópico que se ha demostrado suficiente para provocar la respuesta necesaria (Seidel et al. 2003). Según diversas hipótesis, los miopes pueden presentar un umbral elevado para la borrosidad (Schmid et al. 2002, Rosenfield et al. 1999, Radhakrishnan et al. 2004), es decir son menos sensibles a la borrosidad y por tanto necesitan una mayor borrosidad para desencadenar la respuesta. Esto ha llevado a pensar que su respuesta acomodativa pueda tener características diferentes si se compara a la respuesta acomodativa de otros grupos refractivos.

El objetivo de este trabajo ha sido caracterizar la respuesta acomodativa dinámica en una muestra de estudiantes miopes y emétopes jóvenes. Para ello se han diseñado distintos estímulos y condiciones visuales en visión próxima desencadenantes de la respuesta acomodativa. Con ello, se pretende comprobar si existen diferencias en la magnitud y características de la respuesta acomodativa media y de sus microfluctuaciones en a población que presenta unas demandas acomodativas y un nivel socioeconómico similar.

### RESPUESTA ACOMODATIVA Y MICROFLUCTUACIONES DE LA ACOMODACIÓN EN FUNCIÓN DE LA DISTANCIA

El análisis de los datos recogidos de la muestra estudiada mediante el Power Refractor II indica que la respuesta acomodativa media aumenta a medida que aumenta el estímulo acomodativo, es decir, a medida que el desenfoque hipermetrópico es mayor, tal y como sugieren otros estudios (Trine, L., Riddel, P.M., Svarverud, E. 2008). Sin embargo, no se han detectado diferencias estadísticamente significativas en el nivel de respuesta acomodativa en función de la magnitud del estímulo para los distintos grupos refractivos estudiados. En otras palabras este aumento se experimenta de igual manera en todos los grupos refractivos. Otros estudios han encontrado resultados similares (Day et al. 2006, Seidel et al. 2003).

Así mismo, se ha visto que las microfluctuaciones de la acomodación (RMS, LFC, HFC) también aumentan significativamente al aumentar la magnitud del estímulo acomodativo. Tal como señalan Day et al. (2006) y Yao et al. (2010) las microfluctuaciones de la acomodación son un mecanismo de retroalimentación para mantener el nivel de respuesta acomodativa y de esta manera, mantener la imagen nítida en la retina. Por lo tanto, cuanto mayor es el estímulo acomodativo, mayor será el desenfoque y mayores microfluctuaciones se necesitarán para mantener esa nitidez. Este resultado coincide básicamente con los de otros estudios (Day et al. 2006, Harb et al. 2006, Seidel et al. 2003). En el presente estudio dicho aumento para la RMS se estabiliza a partir de 33 cm y no se produce aumento significativo para el estímulo a 25 cm de distancia. En cambio, los componentes de las altas (HFC) y bajas (LFC) frecuencias aumentan de forma significativa sin detectarse esta estabilidad a partir de 33cm.,.

Nuestros resultados, al analizar las microfluctuaciones de la acomodación en función de la distancia de presentación del estímulo, concuerdan con lo encontrado por Harb et al. (2006) y Stark et al. (1997) (Harb et al. 2006, Stark et al. 1997). Sin embargo, Day et al (2006) encontraron únicamente diferencias en la región de las bajas frecuencias no así en las intermedias ni en las altas (Day et al. 2006). Esta diferencia puede radicar en los límites escogidos para definir la región de las HFC. Nuestra consideración ha sido delimitar la región de las altas frecuencias entre 1-2,3 Hz que tradicionalmente señala la literatura (ver 2.1), mientras que Day et al. únicamente analizaron la región comprendida entre 1-1,5 Hz. Estos resultados sugieren que las microfluctuaciones de las altas frecuencias pueden estar influenciadas, según la hipótesis señalada por Stark et al. (1997), por las características

mecánicas del cuerpo ciliar (Schultz et al. 2009, Stark et al. 1997) y no sólo relacionadas con el pulso arterial. .

Si bien apenas se aprecian diferencias estadísticamente significativas entre los distintos grupos refractivos, se detecta una tendencia a una respuesta acomodativa menor y con mayores microfluctuaciones en los sujetos miopes tempranos (EOM). Consideramos que dicho aumento en las microfluctuaciones puede deberse al aumento de las aberraciones oculares que presentan los sujetos miopes (Harb et al. 2006, He et al. 2005, He et al. 2002, Kirwan et al. 2006) y que puede ser responsable de la disminución en la sensibilidad a la borrosidad (Day et al. 2006, Seidel et al. 2003) en los miopes. En nuestro estudio, esta tendencia se observa en el grupo EOMs puesto que el error refractivo medio que presentan ( $-2,808 \pm 1,245$ ) es mayor que en los sujetos LOMs ( $-1,1458 \pm 0,862$ ) y por lo tanto sus aberraciones podrían ser mayores. También indicar que los resultados obtenidos en nuestro estudio podrían ser consecuencia del distinto tipo de fijación que realizaban los sujetos. En nuestro trabajo la fijación se llevaba a cabo en condiciones binoculares, mientras que en los demás estudios señalados la fijación era monocular.

#### RESPUESTA ACOMODATIVA Y MICROFLUCTUACIONES DE LA ACOMODACIÓN EN FUNCIÓN DEL TIPO DE BORROSIDAD A 33 cm

El estudio de la respuesta acomodativa a 33 cm para distintas condiciones de borrosidad indica que la respuesta media obtenida con los filtro de Bangerter era significativamente inferior a la encontrada con los otros estímulos borrosos y sin borrosidad. Esto sugiere que el control de la respuesta acomodativa es menos preciso en esta condición. Aunque por métodos objetivos se ha determinado que la borrosidad obtenida para un filtro de Bangerter de 0,8 es de 0,35 D, según Perez et al. (2010) la borrosidad subjetiva percibida para dicho filtro, en los sujetos de su estudio, fue de aproximadamente 1 D (Pérez et al. 2010). Las diferencias encontradas pueden deberse en parte a esto ya que los sujetos de nuestro estudio manifestaban igualmente una borrosidad más elevada de la que cabría esperar con un desenfoque de 0,35 D. Por otra parte, la borrosidad que se experimenta con los filtros de Bangerter probablemente es distinta de la generada con el desenfoque o la disminución del contraste, ya que se produce no sólo una disminución de la AV sino también una disminución del contraste (Pérez et al. 2010). Por último, la borrosidad generada con el filtro de Bangerter, se produce no sólo en la retina central sino en toda la retina ya que se trata de un filtro adherido a la lente de pruebas. Todo ello hace que la borrosidad generada sea sustancialmente mayor que con el estímulo borroso o el estímulo de bajo contraste.

La hipoacomodación significativa que experimentan los sujetos del estudio con el filtro de Bangerter, frente al estímulo nítido, puede deberse a una relajación del sistema acomodativo ante la incapacidad de ver con nitidez el estímulo que se le presenta delante. Tal y como señalan Kazushi et al. (1998), la respuesta acomodativa aumenta cuando se le presenta un estímulo con una pequeña borrosidad inicial, sin embargo, a medida que esa borrosidad aumenta la respuesta acomodativa se reduce y tiende hacia la posición del foco oscuro de la acomodación (Niwa et al. 1998). Los resultados de nuestro estudio apoyan esta información, ya que se produce un ligero aumento de la respuesta acomodativa cuando se presenta el estímulo borroso y el de bajo contraste, con respecto al estímulo sin borrosidad. Sin embargo, cuando aumenta la borrosidad con el filtro de Bangerter, la respuesta acomodativa se reduce.

Al analizar las microfluctuaciones de la acomodación, no se observan diferencias significativas ni en el resultado del RMS ni de las frecuencias de las mismas. Sin embargo, y en concordancia con lo señalado hasta ahora, si que se produce un aumento de las microfluctuaciones en la borrosidad generada con los filtros de Bangerter posiblemente en respuesta a ese mayor deterioro de la imagen retiniana y con el fin de intentar buscar la imagen nítida.

No existen diferencias significativas ni en las microfluctuaciones ni en la respuesta acomodativa entre los distintos grupos refractivos, aunque el análisis de las microfluctuaciones de los datos aportados por la RMS muestra una tendencia a un aumento de las microfluctuaciones del grupo EOMs. Nuevamente este aumento se podría deber al aumento en las aberraciones de este grupo refractivo con respecto a los otros dos.

### RESPUESTA ACOMODATIVA Y MICROFLUCTUACIONES DE LA ACOMODACIÓN EN FUNCIÓN DE LA ESTIMULACIÓN MONOCULAR O BINOCULAR

La respuesta acomodativa presenta un valor medio significativamente mayor, y por lo tanto presenta un índice de error menor, cuando la estimulación es binocular. Tal y como sugieren otros estudios (Seidel et al. 2005), nuestros resultados muestran una mayor exactitud en la respuesta acomodativa binocular que en la respuesta monocular, lo que apunta la importancia que tiene el sistema acomodación-convergencia en la respuesta acomodativa.

El análisis RMS de las microfluctuaciones no muestra diferencias significativas entre la estimulación monocular o binocular. No obstante, sí se observa una tendencia al aumento de éstas cuando la estimulación es monocular, tal vez en un intento de mantener de forma más precisa la nitidez de la imagen. Esta tendencia mostraría nuevamente la importancia que tiene la convergencia en la acomodación. Según Seidel et al. (2005) la estimulación monocular y el aumento de las microfluctuaciones en estas condiciones, puede ser un riesgo para el desarrollo de la miopía. El análisis de frecuencias no muestra, al igual que ocurre en estudios previos (Seidel et al. 2005), diferencias significativas en las bajas frecuencias; en este estudio no se analizan las diferencias dentro de la región HFC.

Del mismo modo que los resultados aportados por Seidel et al. (2005), no se aprecian diferencias significativas ni en la respuesta acomodativa ni en las microfluctuaciones de la acomodación entre los distintos grupos refractivos. Sin embargo en nuestro estudio existe una menor respuesta acomodativa y un aumento en las microfluctuaciones de los sujetos EOMs que puede deberse, nuevamente, a la reducción en la sensibilidad a la borrosidad que parece mostrar los sujetos miopes. Estas características no se aprecian en los sujetos LOMs puesto que su error refractivo es menor, más cercano a la emetropía.

### RESPUESTA ACOMODATIVA Y MICROFLUCTUACIONES DE LA ACOMODACIÓN EN FUNCIÓN DE LA ESTIMULACIÓN CON LENTE NEGATIVA O CON DISTANCIAS

La respuesta acomodativa media de los sujetos es menor al estimular la acomodación con la lente negativa de -3D que al presentar el estímulo a 33 cm de distancia. Estos resultados sugieren que la borrosidad que se produce con lentes negativas, es menor que la que se produce cuando un estímulo se acerca y por ello la respuesta acomodativa es menor (Abbott et al. 1998b). Este resultado puede deberse a que las lentes negativas producen una mancha de desenfoque en la retina de menor tamaño como consecuencia del efecto minimizador de las lentes negativas.

El análisis de las microfluctuaciones (RMS) no muestra diferencias estadísticamente significativas entre un estímulo con lente negativa o con disminución de la distancia. Sin embargo, si se puede apreciar una tendencia a la disminución de las microfluctuaciones cuando se utilizan lentes negativas. Esto, nuevamente, puede deberse a la menor borrosidad generada con lentes negativas, lo que hace que sean necesarias menores microfluctuaciones de la acomodación para mantener la respuesta acomodativa.

Aunque no se aprecian diferencias significativas entre los distintos grupos refractivos, tanto para la respuesta acomodativa como para las microfluctuaciones de la acomodación, se observa una tendencia al aumento de la magnitud de la respuesta acomodativa en los miopes tempranos (EOM) con respecto a los miopes tardíos (LOM) y los emétopes (EMM) con lentes negativas. Esto parece indicar que en este grupo refractivo, efectivamente la sensibilidad a la borrosidad es menor y por ello se desencadena una mayor respuesta acomodativa. En esta ocasión, las microfluctuaciones son mayores en ambos grupos de miopes con respecto a los sujetos emétopes. Esto parece indicar que las lentes negativas generan una respuesta acomodativa más inexacta en ambos grupos de miopes que en emétopes.



En resumen podemos concluir:

- Tanto el índice de error en la respuesta acomodativa como las microfluctuaciones de la acomodación aumentan cuando aumenta el estímulo acomodativo. Nuestros resultados concuerdan con los resultados obtenidos hasta el momento.
- A medida que aumenta la borrosidad, la exactitud de la respuesta acomodativa disminuye y las microfluctuaciones aumentan. La utilización de distintos grados de deterioro de la imagen, nos ha permitido aportar más información al estudio de la función acomodativa en estas condiciones
- El índice de error en la respuesta acomodativa binocular es menor que cuando la estimulación se lleva a cabo en condiciones monoculares. De la misma manera, en condiciones monoculares, las microfluctuaciones aumentan.
- El índice de error en la respuesta acomodativa con lentes negativas, es mayor que cuando la estimulación se lleva a cabo mediante la reducción de la distancia de observación.
- A diferencia de otros estudios, nuestros resultados no muestran diferencias significativas en las características de la respuesta acomodativa en el grupo de miopes tardíos. Las condiciones experimentales de los estudios llevados a cabo hasta el momento se centran en la medida de la acomodación en condiciones monoculares y bajo una estimulación llevada a cabo con lentes negativas. Consideramos que nuestro estudio se acerca más a las condiciones de la vida diaria de los sujetos. Por ello, las diferencias encontradas entre estos dos aspectos adquieren relevancia clínica que debería seguir siendo investigada.
- Los miopes de inicio temprano muestran, en la mayoría de condiciones de estudio, una menor respuesta acomodativa y mayores microfluctuaciones. Pensamos que ello podría ser consecuencia de que el error refractivo medio de ambos grupos de miopes era distinto:  $-2,8 \pm 1,25$  para los EOMs y  $-1,15 \pm 0,86$  para los LOMs. Ya hemos ido argumentando en diversos puntos que tal vez las aberraciones oculares del primer grupo sean mayores que las del segundo y eso podría ser origen de las diferencias encontradas. En nuestro caso, el grupo de población joven impedía que los miopes tardíos tuvieran errores refractivos mayores.

### PRÓXIMOS ESTUDIOS

Siguiendo con las condiciones experimentales de fijación binocular en distancia de visión próxima, deberían estudiarse como influyen en la respuesta acomodativa y las microfluctuaciones las variaciones de otras características del estímulo acomodativo como son la frecuencia espacial, la luminancia, la excentricidad, etc. Igualmente, manteniendo las mismas condiciones experimentales, estudiar como varían las características de la función acomodativa en función de la edad. Para ello convendría buscar muestras de sujetos de distintas edades, incluyendo pre-presbitas y presbitas, y someterles a las mismas pruebas que en nuestro estudio y comprobar como la variación en las propiedades mecánicas del cristalino influye en la caracterización de las microfluctuaciones.

Para comprobar la relación existente entre la región de altas frecuencias y el pulso cardíaco, se podría monitorizar el pulso mientras se estimula la acomodación y comprobar si existe una correlación.

Sería conveniente que, en próximos estudios, la refracción media en los sujetos miopes de aparición tardía sea similar al del grupo de miopes de aparición temprana. De esta forma se podrá estudiar si tienen una mayor relevancia los aspectos genéticos (EOMs) o del entorno (LOMs).

## 8. BIBLIOGRAFIA

ABBOTT, M. L.; SCHMID, K. L. and STRANG, N. C. Differences in the Accommodation Stimulus Response Curves of Adult Myopes and Emmetropes. *Ophthalmic & Physiological Optics: The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 01, 1998a, vol. 18, no. 1, pp. 13-20. ISSN 0275-5408.

ABBOTT, M. L.; SCHMID, K. L. and STRANG, N. C. Differences in the Accommodation Stimulus Response Curves of Adult Myopes and Emmetropes. *Ophthalmic & Physiological Optics: The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 01, 1998b, vol. 18, no. 1, pp. 13-20. ISSN 0275-5408.

ABRAHAMSSON, Maths, et al. Clinical Evaluation of an Eccentric Infrared Photorefractor: The PowerRefractor. *Acta Ophthalmologica Scandinavica*, 12, 2003, vol. 81, no. 6, pp. 605-610. ISSN 1395-3907.

ALLEN, Peter M.; and O'LEARY, Daniel, J. Accommodation Functions: Co-Dependency and Relationship to Refractive Error. *Vision Research*, 02, 2006, vol. 46, no. 4, pp. 491-505. ISSN 0042-6989.

ALPERN, M. Variability of Accommodation during Steady Fixation at various Levels of Illuminance. *Journal of the Optical Society of America*, 03, 1958, vol. 48, no. 3, pp. 193-197. ISSN 0030-3941.

ANDERSON, Heather A., et al. Age-Related Changes in Accommodative Dynamics from Preschool to Adulthood. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 01, 2010, vol. 51, no. 1, pp. 614-622. ISSN 1552-5783.

ATCHISON, David A. Comparison of Peripheral Refractions Determined by Different Instruments. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry*, 09, 2003, vol. 80, no. 9, pp. 655-660. ISSN 1040-5488.

ATKINSON J., O. J. Braddick, L. Ayling, E. Pimm-Smith, H. S. Howland, and R. M. Ingram. Isotropic Photorefractive: A New Method for Refractive Testing of Infants. *Pathophysiology of the Visual System*, 1981, vol. 30, pp. 217-223.

Bennett, A G., Rabbets, R B. Clinical visual optics<sup>3a</sup> ed. Edimburgo: Buitenworth-Heinemman, 1998. *Accommodation and Near Vision, the Inadequate Stimulus-Myopia*, pp. 113-142.

BOBIER, W. R.; and BRADDICK, O. J. Eccentric Photorefractive: Optical Analysis and Empirical Measures. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, 09, 1985, vol. 62, no. 9, pp. 614-620. ISSN 0093-7002.

BUCHANAN, R. A.; and WILLIAMS, T. D. Intraocular Pressure, Ocular Pulse Pressure, and Body Position. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, 01, 1985, vol. 62, no. 1, pp. 59-62. ISSN 0093-7002.

BULLIMORE, M. A.; and GILMARTIN, B. Aspects of Tonic Accommodation in Emmetropia and Late-Onset Myopia. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, 07, 1987, vol. 64, no. 7, pp. 499-503. ISSN 0093-7002.

CAMPBELL, F. W. The Minimum Quantity of Light Required to Elicit the Accommodation Reflex in Man. *The Journal of Physiology*, 02/26, 1954, vol. 123, no. 2, pp. 357-366. ISSN 0022-3751.

CAMPBELL, F. W.; ROBSON, J. G. and WESTHEIMER, G. Fluctuations of Accommodation Under Steady Viewing Conditions. *The Journal of Physiology*, 03/12, 1959, vol. 145, no. 3, pp. 579-594. ISSN 0022-3751.



CAMPBELL, M. C.; BOBIER, W. R. and ROORDA, A. Effect of Monochromatic Aberrations on Photorefractive Patterns. *Journal of the Optical Society of America. A, Optics, Image Science, and Vision*, 08, 1995, vol. 12, no. 8, pp. 1637-1646. ISSN 1084-7529.

CANDY, T. R.; and BHARADWAJ, Shrikant R. The Stability of Steady State Accommodation in Human Infants. *Journal of Vision*, 08/17, 2007, vol. 7, no. 11, pp. 4.1-16. ISSN 1534-7362.

CHARMAN, W. N.; and HERON, G. Fluctuations in Accommodation: A Review. *Ophthalmic & Physiological Optics: The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 1988, vol. 8, no. 2, pp. 153-164. ISSN 0275-5408.

CHAUHAN, K.; and CHARMAN, W. N. Single Figure Indices for the Steady-State Accommodative Response. *Ophthalmic & Physiological Optics: The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 05, 1995, vol. 15, no. 3, pp. 217-221. ISSN 0275-5408.

CHEN, Jennifer C.; SCHMID, Katrina L. and BROWN, Brian. The Autonomic Control of Accommodation and Implications for Human Myopia Development: A Review. *Ophthalmic & Physiological Optics: The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 09, 2003, vol. 23, no. 5, pp. 401-422. ISSN 0275-5408.

CHEN, Jennifer C., et al. The Effect of a Beta-Adrenoceptor Antagonist on Accommodative Adaptation in Hong Kong Children. *Current Eye Research*, 03, 2005, vol. 30, no. 3, pp. 179-188. ISSN 0271-3683.

COLLINS, M.; DAVIS, B. and WOOD, J. Microfluctuations of Steady-State Accommodation and the Cardiopulmonary System. *Vision Research*, 09, 1995, vol. 35, no. 17, pp. 2491-2502. ISSN 0042-6989.

COLLINS, Michael J.; BUEHREN, Tobias and ISKANDER, D. R. Retinal Image Quality, Reading and Myopia. *Vision Research*, 01, 2006, vol. 46, no. 1-2, pp. 196-215. ISSN 0042-6989.

CUFFLIN, Matthew P.; MANKOWSKA, Alexand and MALLEN, Edward A. H. Effect of Blur Adaptation on Blur Sensitivity and Discrimination in Emmetropes and Myopes. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 06, 2007, vol. 48, no. 6, pp. 2932-2939. ISSN 0146-0404.

CULHANE, H. M.; and WINN, B. Dynamic Accommodation and Myopia. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 08, 1999, vol. 40, no. 9, pp. 1968-1974. ISSN 0146-0404.

DAY, Mhairi, et al. The Relationship between Object Spatial Profile and Accommodation Microfluctuations in Emmetropes and Myopes. *Journal of Vision*, 09/04, 2009a, vol. 9, no. 10, pp. 5.1-13. ISSN 1534-7362.

DAY, Mhairi, et al. The Effect of Modulating Ocular Depth of Focus upon Accommodation Microfluctuations in Myopic and Emmetropic Subjects. *Vision Research*, 01, 2009b, vol. 49, no. 2, pp. 211-218. ISSN 1878-5646.

DAY, Mhairi, et al. Refractive Group Differences in Accommodation Microfluctuations with Changing Accommodation Stimulus. *Ophthalmic & Physiological Optics: The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 01, 2006, vol. 26, no. 1, pp. 88-96. ISSN 0275-5408.

DENIEUL, P. Effects of Stimulus Vergence on Mean Accommodation Response, Microfluctuations of Accommodation and Optical Quality of the Human Eye. *Vision Research*, 1982, vol. 22, no. 5, pp. 561-569. ISSN 0042-6989.

DENIEUL, P.; and CORNO-MARTIN, F. Mean Response and Oscillations of Accommodation with Colour and Contrast. *Ophthalmic & Physiological Optics: The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 04, 1994, vol. 14, no. 2, pp. 184-192. ISSN 0275-5408.

- DREXLER, W., et al. Eye Elongation during Accommodation in Humans: Differences between Emmetropes and Myopes. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 10, 1998, vol. 39, no. 11, pp. 2140-2147. ISSN 0146-0404.
- GILMARTIN, B.; and BULLIMORE, M. A. Adaptation of Tonic Accommodation to Sustained Visual Tasks in Emmetropia and Late-Onset Myopia. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry*, 01, 1991, vol. 68, no. 1, pp. 22-26. ISSN 1040-5488.
- GOSS, D. A. Nearwork and Myopia. *Lancet*, 10/28, 2000, vol. 356, no. 9240, pp. 1456-1457. ISSN 0140-6736.
- GRAY, L. S.; WINN, B. and GILMARTIN, B. Accommodative Microfluctuations and Pupil Diameter. *Vision Research*, 10, 1993a, vol. 33, no. 15, pp. 2083-2090. ISSN 0042-6989.
- GRAY, L. S.; WINN, B. and GILMARTIN, B. Effect of Target Luminance on Microfluctuations of Accommodation. *Ophthalmic & Physiological Optics: The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 07, 1993b, vol. 13, no. 3, pp. 258-265. ISSN 0275-5408.
- GROSVENOR, T. P.; and GOSS, D. A. *Clinical Management of Myopia*. Boston: Butterworth-Heinemann, 1999.
- GRUSSO, Paul. M. Millodot, Editor, Dictionary of Optometry and Visual Science (6th Edition), Butterworth-Heinemann, St. Louis, MO (2004) Softbound, 347 Pages, \$79.95. *Optometry - Journal of the American Optometric Association*, 3, 2007, vol. 78, no. 3, pp. 107-107. ISSN 1529-1839.
- GWIAZDA, J., et al. A Dynamic Relationship between Myopia and Blur-Driven Accommodation in School-Aged Children. *Vision Research*, 05, 1995a, vol. 35, no. 9, pp. 1299-1304. ISSN 0042-6989.
- GWIAZDA, J., et al. Shifts in Tonic Accommodation After Near Work are Related to Refractive Errors in Children. *Ophthalmic & Physiological Optics: The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 03, 1995b, vol. 15, no. 2, pp. 93-97. ISSN 0275-5408.
- GWIAZDA, J., et al. Shifts in Tonic Accommodation After Near Work are Related to Refractive Errors in Children. *Ophthalmic & Physiological Optics: The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 03, 1995c, vol. 15, no. 2, pp. 93-97. ISSN 0275-5408.
- HARB, Elise; THORN, Frank and TROILO, David. Characteristics of Accommodative Behavior during Sustained Reading in Emmetropes and Myopes. *Vision Research*, 08, 2006, vol. 46, no. 16, pp. 2581-2592. ISSN 0042-6989.
- HE, Ji C., et al. The Association of Wavefront Aberration and Accommodative Lag in Myopes. *Vision Research*, 02, 2005, vol. 45, no. 3, pp. 285-290. ISSN 0042-6989.
- HE, Ji C., et al. Wavefront Aberrations in Eyes of Emmetropic and Moderately Myopic School Children and Young Adults. *Vision Research*, 04, 2002, vol. 42, no. 8, pp. 1063-1070. ISSN 0042-6989.
- HOWLAND, H. C. Optics of Photoretinoscopy: Results from Ray Tracing. *American Journal of Optometry and Physiological Optics*, 09, 1985, vol. 62, no. 9, pp. 621-625. ISSN 0093-7002.
- HOWLAND, H. C., et al. Optics of Photorefractive: Orthogonal and Isotropic Methods. *Journal of the Optical Society of America*, 12, 1983, vol. 73, no. 12, pp. 1701-1708. ISSN 0030-3941.
- HOWLAND, H. C.; and HOWLAND, B. Photorefractive: A Technique for Study of Refractive State at a Distance. *Journal of the Optical Society of America*, 02, 1974, vol. 64, no. 2, pp. 240-249. ISSN 0030-3941.

- HOWLAND, Howard C. Photorefractive of Eyes: History and Future Prospects. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry*, 06, 2009, vol. 86, no. 6, pp. 603-606. ISSN 1538-9235.
- HUNG, G. K.; and SEMMLOW, J. L. Static Behavior of Accommodation and Vergence: Computer Simulation of an Interactive Dual-Feedback System. *IEEE Transactions on Bio-Medical Engineering*, 08, 1980, vol. 27, no. 8, pp. 439-447. ISSN 0018-9294.
- JAINTA, Stephanie; JASCHINSKI, Wolfgang and HOORMANN, Jö. Measurement of Refractive Error and Accommodation with the Photorefractor PowerRef II. *Ophthalmic & Physiological Optics: The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 11, 2004, vol. 24, no. 6, pp. 520-527. ISSN 0275-5408.
- JIANG, B. C. Integration of a Sensory Component into the Accommodation Model Reveals Differences between Emmetropia and Late-Onset Myopia. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 07, 1997a, vol. 38, no. 8, pp. 1511-1516. ISSN 0146-0404.
- JIANG, B. C. Integration of a Sensory Component into the Accommodation Model Reveals Differences between Emmetropia and Late-Onset Myopia. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 07, 1997b, vol. 38, no. 8, pp. 1511-1516. ISSN 0146-0404.
- JOHNSON, C. A. Effects of Luminance and Stimulus Distance on Accommodation and Visual Resolution. *Journal of the Optical Society of America*, 02, 1976, vol. 66, no. 2, pp. 138-142. ISSN 0030-3941.
- KAAKINEN, K.; and TOMMILA, V. A Clinical Study on the Detection of Strabismus, Anisometropia Or Ametropia of Children by Simultaneous Photography of the Corneal and the Fundus Reflexes. *Acta Ophthalmologica*, 08, 1979, vol. 57, no. 4, pp. 600-611. ISSN 0001-639X.
- KIRWAN, Caitriona; O'KEEFE, Michael and SOELDNER, Hansjorg. Higher-Order Aberrations in Children. *American Journal of Ophthalmology*, 01, 2006, vol. 141, no. 1, pp. 67-70. ISSN 0002-9394.
- KLEIN, B. E. K.; KLEIN, R. and KNUDTSON, M. D. Intraocular Pressure and Systemic Blood Pressure: Longitudinal Perspective: The Beaver Dam Eye Study. *The British Journal of Ophthalmology*, 03, 2005, vol. 89, no. 3, pp. 284-287. ISSN 0007-1161.
- KOTULAK, J. C.; and SCHOR, C. M. A Computational Model of the Error Detector of Human Visual Accommodation. *Biological Cybernetics*, 1986a, vol. 54, no. 3, pp. 189-194. ISSN 0340-1200.
- KOTULAK, J. C.; and SCHOR, C. M. Temporal Variations in Accommodation during Steady-State Conditions. *Journal of the Optical Society of America. A, Optics and Image Science*, 02, 1986b, vol. 3, no. 2, pp. 223-227. ISSN 0740-3232.
- LANGAAS, Trine, et al. Variability of the Accommodation Response in Early Onset Myopia. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry*, 01, 2008, vol. 85, no. 1, pp. 37-48. ISSN 1040-5488.
- LEGGE, G. E., et al. Tolerance to Visual Defocus. *Journal of the Optical Society of America. A, Optics and Image Science*, 05, 1987, vol. 4, no. 5, pp. 851-863. ISSN 0740-3232.
- MALLEN, E. A., et al. Clinical Evaluation of the Shin-Nippon SRW-5000 Autorefractor in Adults. *Ophthalmic & Physiological Optics: The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 03, 2001, vol. 21, no. 2, pp. 101-107. ISSN 0275-5408.
- MCBRIEN, N. A.; and MILLODOT, M. Differences in Adaptation of Tonic Accommodation with Refractive State. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 03, 1988, vol. 29, no. 3, pp. 460-469. ISSN 0146-0404.

MCBRIEN, N. A.; and MILLODOT, M. The Relationship between Tonic Accommodation and Refractive Error. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 06, 1987, vol. 28, no. 6, pp. 997-1004. ISSN 0146-0404.

MCCARTY, C. A.; and TAYLOR, H. R. Myopia and Vision 2020. *American Journal of Ophthalmology*, 04, 2000, vol. 129, no. 4, pp. 525-527. ISSN 0002-9394.

MORDI, John A.; and CIUFFREDA, Kenneth J. Dynamic Aspects of Accommodation: Age and Presbyopia. *Vision Research*, 03, 2004, vol. 44, no. 6, pp. 591-601. ISSN 0042-6989.

NIWA, K.; and TOKORO, T. Influence of Spatial Distribution with Blur on Fluctuations in Accommodation. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry*, 03, 1998, vol. 75, no. 3, pp. 227-232. ISSN 1040-5488.

PÉREZ, Guillermo, M.; ARCHER, Steven M. and ARTAL, Pablo. Optical Characterization of Bangerter Foils. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 01, 2010, vol. 51, no. 1, pp. 609-613. ISSN 1552-5783.

Plus optix eye-vision technology. *Instruction Manual Power Refractor II (License R)*, copyright 2005.

PUGH, J. R., et al. Power Spectrum Analysis in the Study of Ocular Mechanisms. *Ophthalmic & Physiological Optics: The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 1987, vol. 7, no. 3, pp. 321-324. ISSN 0275-5408.

RABBETTS, R. B. 4ª edición ed. USA: Butterworth-Heinemann, Elsevier, 2007. *Accommodation and Near Vision. the Inadequate-Stimulus Myopias*, pp. 125-153.

RADHAKRISHNAN, Hema, et al. Effect of Positive and Negative Defocus on Contrast Sensitivity in Myopes and Non-Myopes. *Vision Research*, 2004, vol. 44, no. 16, pp. 1869-1878. ISSN 0042-6989.

ROSENFELD, M., GILMARTIN, B. Myopia and nearwork<sup>1a</sup> ed. Oxford (Great Britain): Butterworth-Heinemann, 1998. *Accommodation and Myopia*, pp. 91-116.

ROSENFELD, M.; and ABRAHAM-COHEN, J. Blur Sensitivity in Myopes. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry*, 05, 1999, vol. 76, no. 5, pp. 303-307. ISSN 1040-5488.

ROSENFELD, M., et al. Tonic Accommodation: A Review. II. Accommodative Adaptation and Clinical Aspects. *Ophthalmic & Physiological Optics: The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 07, 1994a, vol. 14, no. 3, pp. 265-277. ISSN 0275-5408.

ROSENFELD, M., et al. Tonic Accommodation: A Review. II. Accommodative Adaptation and Clinical Aspects. *Ophthalmic & Physiological Optics: The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 07, 1994b, vol. 14, no. 3, pp. 265-277. ISSN 0275-5408.

ROSENFELD, M., et al. Tonic Accommodation: A Review. I. Basic Aspects. *Ophthalmic & Physiological Optics: The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 07, 1993, vol. 13, no. 3, pp. 266-284. ISSN 0275-5408.

ROSENFELD, Mark; HONG, Susan E. and GEORGE, Sini. Blur Adaptation in Myopes. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry*, 09, 2004, vol. 81, no. 9, pp. 657-662. ISSN 1040-5488.

SAW, S. M., et al. Epidemiology of Myopia. *Epidemiologic Reviews*, 1996, vol. 18, no. 2, pp. 175-187. ISSN 0193-936X.

SCHAEFFEL, F.; FARKAS, L. and HOWLAND, H. C. Infrared Photoretinoscope. *Applied Optics*, 04/15, 1987, vol. 26, no. 8, pp. 1505-1509. ISSN 0003-6935.

SCHMID, Katrina L., et al. Blur Detection Thresholds in Childhood Myopia: Single and Dual Target Presentation. *Vision Research*, 01, 2002, vol. 42, no. 2, pp. 239-247. ISSN 0042-6989.

SCHULTZ, Kristin E., et al. Accommodative Fluctuations, Lens Tension, and Ciliary Body Thickness in Children. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry*, 06, 2009, vol. 86, no. 6, pp. 677-684. ISSN 1538-9235.

SEIDEL, Dirk; GRAY, Lyle S. and HERON, Gordon. The Effect of Monocular and Binocular Viewing on the Accommodation Response to Real Targets in Emmetropia and Myopia. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry*, 04, 2005, vol. 82, no. 4, pp. 279-285. ISSN 1040-5488.

SEIDEL, Dirk; GRAY, Lyle S. and HERON, Gordon. Retinotopic Accommodation Responses in Myopia. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 03, 2003, vol. 44, no. 3, pp. 1035-1041. ISSN 0146-0404.

STARK, L. R.; and ATCHISON, D. A. Pupil Size, Mean Accommodation Response and the Fluctuations of Accommodation. *Ophthalmic & Physiological Optics: The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 07, 1997, vol. 17, no. 4, pp. 316-323. ISSN 0275-5408.

TOSHIDA, K.; OKUYAMA, F. and TOKORO, T. Influences of the Accommodative Stimulus and Aging on the Accommodative Microfluctuations. *Optometry and Vision Science: Official Publication of the American Academy of Optometry*, 03, 1998, vol. 75, no. 3, pp. 221-226. ISSN 1040-5488.

Trine, L., Riddel, P.M., Svarverud, E. Variability of the Accommodation Response in Early Onset Myopia. *Optometry and Vision Science*, 2008, vol. 85, pp. 37-48.

VAN ALPHEN, G. On Emmetropia and Ametropia. *Optica Acta*, 1961, vol. 142(Suppl), pp. 1-92. ISSN 0030-3909.

VAN DER HEIJDE, G.L.; BEERS, A. P. and DUBBELMAN, M. Microfluctuations of Steady-State Accommodation Measured with Ultrasonography. *Ophthalmic & Physiological Optics: The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 05, 1996, vol. 16, no. 3, pp. 216-221. ISSN 0275-5408.

VASUDEVAN, Balamurali; CIUFFREDA, Kenneth J. and WANG, Bin. Objective Blur Thresholds in Free Space for Different Refractive Groups. *Current Eye Research*, 02, 2006, vol. 31, no. 2, pp. 111-118. ISSN 0271-3683.

VERA-DÍAZ, Fuensanta, A.; STRANG, Niall C. and WINN, Barry. Nearwork Induced Transient Myopia during Myopia Progression. *Current Eye Research*, 04, 2002, vol. 24, no. 4, pp. 289-295. ISSN 0271-3683.

VERA-DIAZ, Fuensanta, et al. Increased Accommodation Following Adaptation to Image Blur in Myopes. *Journal of Vision*, 12/28, 2004, vol. 4, no. 12, pp. 1111-1119. ISSN 1534-7362.

WALLMAN, Josh; and WINAWER, Jonathan. Homeostasis of Eye Growth and the Question of Myopia. *Neuron*, 08/19, 2004, vol. 43, no. 4, pp. 447-468. ISSN 0896-6273.

WANG, Bin; and CIUFFREDA, Kenneth J. Depth-of-Focus of the Human Eye: Theory and Clinical Implications. *Survey of Ophthalmology*, 2006, 2006, vol. 51, no. 1, pp. 75-85. ISSN 0039-6257.

WANG, Q., et al. Refractive Status in the Beaver Dam Eye Study. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 12, 1994, vol. 35, no. 13, pp. 4344-4347. ISSN 0146-0404.

WINN, B., et al. The Frequency Characteristics of Accommodative Microfluctuations for Central and Peripheral Zones of the Human Crystalline Lens. *Vision Research*, 1990, vol. 30, no. 7, pp. 1093-1099. ISSN 0042-6989.

WOLFFSOHN, J. S., et al. Continuous Recording of Accommodation and Pupil Size using the Shin-Nippon SRW-5000 Autorefractor. *Ophthalmic & Physiological Optics: The Journal of the British College of Ophthalmic Opticians (Optometrists)*, 03, 2001, vol. 21, no. 2, pp. 108-113. ISSN 0275-5408.

YAO, Peijun, et al. Objective Depth-of-Focus is Different from Subjective Depth-of-Focus and Correlated with Accommodative Microfluctuations. *Vision Research*, 06/18, 2010, vol. 50, no. 13, pp. 1266-1273. ISSN 1878-5646.

ZADNIK, K., et al. Tonic Accommodation, Age, and Refractive Error in Children. *Investigative Ophthalmology & Visual Science*, 05, 1999, vol. 40, no. 6, pp. 1050-1060. ISSN 0146-0404.



# ANEXO 1:

Tabla 1: Análisis descriptivo de la respuesta acomodativa en función de la distancia de estimulación.

Tabla 2: Análisis descriptivo de la respuesta acomodativa a todas las distancias en función del grupo refractivo.

Tabla 3: Análisis post-hoc DMS para comprobar la diferencia estadísticamente significativa entre grupos refractivos a 50 cm

Tabla 4: Análisis post-hoc DMS para comprobar la diferencia estadísticamente significativa entre emétopes y EOMs en el índice de error en función de la distancia de presentación del estímulo

Tabla 5: Análisis post-hoc DMS para comprobar la diferencia estadísticamente significativa entre la estimulación con Bangerter y el resto de condiciones a 33 cm.

Tabla 6: Análisis descriptivo de la respuesta acomodativa media en función de la borrosidad.

Tabla 7: Análisis descriptivo de la respuesta acomodativa a la borrosidad en función del grupo refractivo

Tabla 8: Post-hoc DMS, que muestra las diferencias estadísticas al comparar la estimulación con la lente de -3 D.

Tabla 9: Análisis descriptivo de las RMS en función de la distancia

Tabla 10: Análisis descriptivo de la RMS en función del grupo refractivo para todas las distancias

Tabla 11: Análisis post-hoc DMS de la significación estadística del RMS a 50 cm entre los distintos grupos refractivos.

Tabla 12: Análisis post-hoc DMS de la significación estadística del RMS de los distintos grupos refractivos en función de todas las borrosidades a 33 cm.

Tabla 13: Análisis post-hoc DMS de la significación estadística de la RMS entre la estimulación monocular a 33 cm y la estimulación monocular con lente negativa de -3 D

Tabla 14: Análisis post-hoc DMS de la significación estadística de las microfluctuaciones en la región LFC en la estimulación a 50 cm entre emétopes y LOMs.

Tabla 15: Análisis descriptivo de las microfluctuaciones de la acomodación en la región HFC en función de la distancia de presentación del estímulo.

Tabla 16: Análisis post-hoc DMS de la significación estadística de las microfluctuaciones en la región HFC en la estimulación a 1 metro entre emétopes y EOMs.

Tabla 17: Análisis detallado post-hoc DMS entre grupos refractivos cuando el estímulo presentado es de bajo contraste en la región LFC.

Tabla 18: Análisis detallado post-hoc DMS entre grupos refractivos cuando el estímulo se presenta con los filtros de Bangerter en la región HFC.

Tabla 19: Análisis detallado post-hoc DMS entre grupos refractivos en función de la estimulación con distancias o con lente negativa de -3 D.

Tabla 20: Análisis detallado post-hoc DMS entre grupos refractivos en función de la estimulación con distancia o con lente negativa de -3 D.

### Descriptivos

		N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
RESPUESTA_ACOMODATIVA	INFINITO	45	-,34246532316	,583100008086	,086923417051	-,51764795934	-,16728268697	-1,673184191	,604124607
	1 metro	45	,05903002816	,575556359754	,085798876353	-,11388624517	,23194630148	-1,068498514	1,548072576
	50 cm	45	,86411925093	,815062519278	,121502346601	,61924736137	1,10899114049	-1,261705706	2,738016556
	33 cm	45	1,80406235356	1,02128915701	,152244798651	1,49723312298	2,11089158413	-,863501091	4,816799813
	25 cm	45	3,17272592420	,988729131926	,147391036688	2,87567880810	3,46977304030	1,205450936	5,660468222
	Total	225	1,11149444674	1,50620362095	,100413574730	,91361835573	1,30937053774	-1,673184191	5,660468222

Tabla 1: Análisis descriptivo de la respuesta acomodativa en función de la distancia de estimulación.

### Descriptivos

		N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
RESPUESTA_ACOMODATIVA	EMETROPES	80	1,21064894206	1,43703349100	,160665228592	,89085280404	1,53044508009	-1,673184191	5,660468222
	EOM	85	,99516636478	1,56377515680	,169615230345	,65786787805	1,33246485151	-1,501111248	5,596237381
	LOM	60	1,14408656908	1,52728742446	,197171958661	,74954639111	1,53862674705	-1,567799887	4,965970226
	Total	225	1,11149444674	1,50620362095	,100413574730	,91361835573	1,30937053774	-1,673184191	5,660468222

Tabla 2: Análisis descriptivo de la respuesta acomodativa a todas las distancias en función del grupo refractivo.



RESPUESTA\_ACOMODATIVA

DMS

(I) GRUPO_Rx	(J) GRUPO_Rx	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
EMETROPES	EOM	,602168665629 <sup>*</sup>	,275215286220	,034	,04676173217	1,15757559909
	LOM	,261806435271	,301736907921	,391	-,34712329767	,87073616821
EOM	EMETROPES	- ,602168665629 <sup>*</sup>	,275215286220	,034	-1,15757559909	-,04676173217
	LOM	- ,340362230358	,297909223467	,260	-,94156738334	,26084292262
LOM	EMETROPES	- ,261806435271	,301736907921	,391	-,87073616821	,34712329767
	EOM	,340362230358	,297909223467	,260	-,26084292262	,94156738334

Tabla 3: Análisis post-hoc DMS para comprobar la diferencia estadísticamente significativa entre grupos refractivos a 50 cm.

### Comparaciones múltiples

INDICE\_ERROR\_GRx

DMS

(I) GRUPO_Rx	(J) GRUPO_Rx	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
EMETROPES	EOM	-,467301030302*	,198666974508	,020	-,85881550617	-,07578655443
	LOM	-,154689381216	,217811878901	,478	-,58393286175	,27455409932
EOM	EMETROPES	,467301030302*	,198666974508	,020	,07578655443	,85881550617
	LOM	,312611649085	,215048825655	,147	-,11118666199	,73640996016
LOM	EMETROPES	,154689381216	,217811878901	,478	-,27455409932	,58393286175
	EOM	-,312611649085	,215048825655	,147	-,73640996016	,11118666199

\*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

Tabla 4: Análisis post-hoc DMS para comprobar la diferencia estadísticamente significativa entre emétopes y EOMs en el índice de error en función de la distancia de presentación del estímulo.

RESPUESTA\_ACOMODATIVA

DMS

(I) BORROSO	(J) BORROSO	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
33cm BANGERTER	33cm BORROSO	-,486455317005 <sup>*</sup>	,220458578137	,029	-,92194635519	-,05096427882
	33cm BAJO CONTRASTE	-,489389814710 <sup>*</sup>	,220458578137	,028	-,92488085289	-,05389877653
	33cm SIN BORROSIDAD	-,463322562402 <sup>*</sup>	,219546863871	,036	-,89701261196	-,02963251285

Tabla 5: Análisis post-hoc DMS para comprobar la diferencia estadísticamente significativa entre la estimulación con Bangerter y el resto de condiciones a 33 cm.

### Descriptivos

RESPUESTA\_ACOMODATIVA

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
33cm BANGERTER	26	1,34073979115	,521254056029	,102226330894	1,13020072157	1,55127886074	,000000000	2,418550840
33cm BORROSO	44	1,82719510816	,891813649729	,134445966321	1,55605897666	2,09833123966	-1,463206392	4,441206156
33cm BAJO CONTRASTE	44	1,83012960586	,917915731779	,138381003249	1,55105771609	2,10920149564	-1,456086849	4,486276233
33cm SIN BORROSIDAD	45	1,80406235356	1,02128915701	,152244798651	1,49723312298	2,11089158413	-,863501091	4,816799813
			4					
Total	159	1,74191401193	,900549945828	,071418256256	1,60085638015	1,88297164371	-1,463206392	4,816799813

Tabla 6: Análisis descriptivo de la respuesta acomodativa media en función de la borrosidad.

Descriptivos									
		N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
						Límite inferior	Límite superior		
RESPUESTA_ACOMODAT	EMETROPES	53	1,88714625770	,844104646466	,115946690270	1,65448220211	2,11981031329	-,863501091	4,486276233
IVA	EOM	60	1,59017487348	1,04086656460	,134375295678	1,32129052790	1,85905921906	-1,463206392	4,816799813
	LOM	45	1,81189075178	,697577038649	,103988645197	1,60231540814	2,02146609542	-,385273083	3,529014278
	Total	158	1,75293878416	,892584395370	,071010201748	1,61268020320	1,89319736512	-1,463206392	4,816799813

Tabla 7: Análisis descriptivo de la respuesta acomodativa a la borrosidad en función del grupo refractivo

### Comparaciones múltiples

DMS

			Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
Variable dependiente	(I) MN3D	(J) MN3D				Límite inferior	Límite superior
RESPUESTA_ACOMODATI VA	33cm MN sin lente	Lente -3 MN	,369825142619	,209792154480	,080	-,04534736362	,78499764886
		33cm BN SIN LENTE	- ,385567930079	,206265984783	,064	-,79376225016	,02262639000
	Lente -3 MN	33cm MN sin lente	- ,369825142619	,209792154480	,080	-,78499764886	,04534736362
		33cm BN SIN LENTE	- ,755393072698*	,206265984783	,000	-1,16358739278	-,34719875262
	33cm BN SIN LENTE	33cm MN sin lente	,385567930079	,206265984783	,064	-,02262639000	,79376225016
		Lente -3 MN	,755393072698*	,206265984783	,000	,34719875262	1,16358739278

Tabla 8: Post-hoc DMS, que muestra las diferencias estadísticas al comparar la estimulación con la lente de -3 D.

### Descriptivos

RMS\_EA

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
INFINITO	45	,59898193158	,393051848628	,058592710148	,48089608345	,71706777971	,124375543	1,777182781
1 metro	45	1,04079232422	,456482672572	,068048419095	,90364974689	1,17793490156	,289097122	2,075099300
50 cm	45	1,24936882718	,729048327415	,108680107932	1,03033846166	1,46839919269	,427943309	3,392740885
33 cm	45	1,43477262540	,766045056358	,114195254656	1,20462721201	1,66491803879	,400524745	3,948212204
25 cm	45	1,18273336384	,677594763864	,101009863547	,97916136015	1,38630536754	,313216086	2,874958994
Total	225	1,10132981444	,678704583084	,045246972206	1,01216563506	1,19049399383	,124375543	3,948212204

Tabla 9: Análisis descriptivo de las RMS en función de la distancia.

### Descriptivos

RMS\_EA

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
EMETROPES	16	,53210141988	,357719293764	,089429823441	,34148626334	,72271657641	,223044944	1,777182781
EOM	17	,69461640194	,365927715446	,088750507184	,50647373145	,88275907243	,190372271	1,520074216
LOM	12	,55267378083	,475095282430	,137148194601	,25081263978	,85453492188	,124375543	1,586371330
Total	45	,59898193158	,393051848628	,058592710148	,48089608345	,71706777971	,124375543	1,777182781

Tabla 10: Análisis descriptivo de la RMS en función del grupo refractivo para todas las distancias

DMS	EMETROPES	EOM	- ,644207289169 <sup>+</sup>	,239976215380	,010	-1,12849889854	-,15991567980
		LOM	- ,273718132208	,263101959915	,304	-,80467938349	,25724311907
	EOM	EMETROPES	,644207289169 <sup>+</sup>	,239976215380	,010	,15991567980	1,12849889854
		LOM	,370489156961	,259764379211	,161	-,15373658377	,89471489769
	LOM	EMETROPES	,273718132208	,263101959915	,304	-,25724311907	,80467938349
		EOM	- ,370489156961	,259764379211	,161	-,89471489769	,15373658377

Tabla 11: Análisis post-hoc DMS de la significación estadística del RMS a 50 cm entre los distintos grupos refractivos.

DMS	EMETROPES	EOM	- ,267963425569 <sup>+</sup>	,129457184136	,040	-,52369148113	-,01223537000
		LOM	,001894799454	,139209649726	,989	-,27309815113	,27688775004
	EOM	EMETROPES	,267963425569 <sup>+</sup>	,129457184136	,040	,01223537000	,52369148113
		LOM	,269858225022 <sup>+</sup>	,135429495928	,048	,00233254160	,53738390844
	LOM	EMETROPES	- ,001894799454	,139209649726	,989	-,27688775004	,27309815113
		EOM	- ,269858225022 <sup>+</sup>	,135429495928	,048	-,53738390844	-,00233254160

Tabla 12: Análisis post-hoc DMS de la significación estadística del RMS de los distintos grupos refractivos en función de todas las borrosidades a 33 cm.

DMS	33cm BN SIN LENTE	33cm MN sin lente	-	,175200606547	,281	-,53650875738	,15692494223
			,189791907576				
		Lente -3 MN	,181253083567	,175200606547	,303	-,16546376624	,52796993337
	33cm MN sin lente	33cm BN SIN LENTE	,189791907576	,175200606547	,281	-,15692494223	,53650875738
		Lente -3 MN	,371044991143*	,178195705667	,039	,01840092823	,72368905406
	Lente -3 MN	33cm BN SIN LENTE	-	,175200606547	,303	-,52796993337	,16546376624
		,181253083567					
		33cm MN sin lente	-	,178195705667	,039	-,72368905406	-,01840092823
			,371044991143*				

Tabla 13: Análisis post-hoc DMS de la significación estadística de la RMS entre la estimulación monocular a 33 cm y la estimulación monocular con lente negativa de -3 D.

DMS	EMETROPES	EOM	-	,001246945157	,658	-,00307312425	,00195975016
			,000556687040				
		LOM	-	,001367109295	,037	-,00570973927	-,00019186277
			,002950801021*				
	EOM	EMETROPES	,000556687040	,001246945157	,658	-,00195975016	,00307312425
		LOM	-	,001349766826	,083	-,00511805371	,00032982575
			,002394113980				
	LOM	EMETROPES	,002950801021*	,001367109295	,037	,00019186277	,00570973927
EOM		,002394113980	,001349766826	,083	-,00032982575	,00511805371	

Tabla 14: Análisis post-hoc DMS de la significación estadística de las microfluctuaciones en la región LFC en la estimulación a 50 cm entre emétopes y LOMs.

### Descriptivos

HFC

	N	Media	Desviación típica	Error típico	Intervalo de confianza para la media al 95%		Mínimo	Máximo
					Límite inferior	Límite superior		
INFINITO	45	,00021738789	,000142309927	,000021214311	,00017463325	,00026014252	,000033766	,000750477
1 metro	45	,00025607976	,000126508762	,000018858813	,00021807232	,00029408720	,000045248	,000682561
50 cm	45	,00046301878	,000245578366	,000036608661	,00038923887	,00053679869	,000140617	,001132146
33 cm	45	,00079781196	,000655743276	,000097752436	,00060080487	,00099481905	,000157091	,003656574
25 cm	45	,00109028142	,000433685470	,000064650013	,00095998788	,00122057496	,000275237	,002013798
Total	225	,00056491596	,000502226991	,000033481799	,00049893636	,00063089556	,000033766	,003656574

Tabla 15: Análisis descriptivo de las microfluctuaciones de la acomodación en la región HFC en función de la distancia de presentación del estímulo.

DMS	EMETROPES	EOM	-	,000042522035	,044	-,00017411243	-,00000248655
			,000088299493 <sup>*</sup>				
		LOM	-	,000046619748	,905	-,00009969450	,00008847042
			,000005612042				
	EOM	EMETROPES	,000088299493 <sup>*</sup>	,000042522035	,044	,00000248655	,00017411243
		LOM	,000082687451	,000046028353	,080	-,00001020153	,00017557643
	LOM	EMETROPES	,000005612042	,000046619748	,905	-,00008847042	,00009969450
		EOM	-	,000046028353	,080	-,00017557643	,00001020153
			,000082687451				

Tabla 16: Análisis post-hoc DMS de la significación estadística de las microfluctuaciones en la región HFC en la estimulación a 1 metro entre emétopes y EOMs.



DMS	EMETROPES	EOM	,000820951046	,001430720889	,569	-,00206844841	,00371035050
		LOM	-	,001508486410	,131	-,00537041322	,00072248700
			,002323963113				
	EOM	EMETROPES	-	,001430720889	,569	-,00371035050	,00206844841
		LOM	-	,001486438767	,040	-,00614683815	-,00014299017
			,003144914159*				
	LOM	EMETROPES	,002323963113	,001508486410	,131	-,00072248700	,00537041322
		EOM	,003144914159*	,001486438767	,040	,00014299017	,00614683815

Tabla 17: Análisis detallado post-hoc DMS entre grupos refractivos cuando el estímulo presentado es de bajo contraste en la región LFC.

#### Comparaciones múltiples

HFC

DMS

(I) GRUPO_Rx	(J) GRUPO_Rx	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
EMETROPES	EOM	,000297620214*	,000098158295	,006	,00009405237	,00050118806
	LOM	,000079447839	,000103086830	,449	-,00013434116	,00029323684
EOM	EMETROPES	-,000297620214*	,000098158295	,006	-,00050118806	-,00009405237
	LOM	-,000218172375*	,000094480640	,031	-,00041411323	-,00002223152
LOM	EMETROPES	-,000079447839	,000103086830	,449	-,00029323684	,00013434116
	EOM	,000218172375*	,000094480640	,031	,00002223152	,00041411323

\*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

Tabla 18: Análisis detallado post-hoc DMS entre grupos refractivos cuando el estímulo se presenta con los filtros de Bangerter en la región HFC.

DMS	33cm BN SIN LENTE	33cm MN sin lente	,001470247071	,000902868623	,106	-,00031650339	,00325699753
		Lente -3 MN	,000857878476	,000902868623	,344	-,00092887199	,00264462894
	33cm MN sin lente	33cm BN SIN LENTE	- ,001470247071	,000902868623	,106	-,00325699753	,00031650339
		Lente -3 MN	- ,000612368595	,000918303392	,506	-,00242966401	,00120492682
	Lente -3 MN	33cm BN SIN LENTE	- ,000857878476	,000902868623	,344	-,00264462894	,00092887199
		33cm MN sin lente	,000612368595	,000918303392	,506	-,00120492682	,00242966401

Tabla 19: Análisis detallado post-hoc DMS entre grupos refractivos en función de la estimulación con distancias o con lente negativa de -3 D.

### Comparaciones múltiples

HFC

DMS

(I) MN3D	(J) MN3D	Diferencia de medias (I-J)	Error típico	Sig.	Intervalo de confianza al 95%	
					Límite inferior	Límite superior
33cm MN sin lente	Lente -3 MN	- ,000614294548*	,000138248571	,000	-,00088788440	-,00034070469
	33cm BN SIN LENTE	- ,000382406408*	,000135924900	,006	-,00065139779	-,00011341503
Lente -3 MN	33cm MN sin lente	,000614294548*	,000138248571	,000	,00034070469	,00088788440
	33cm BN SIN LENTE	,000231888140	,000135924900	,090	-,00003710324	,00050087952
33cm BN LENTE	33cm MN sin lente	,000382406408*	,000135924900	,006	,00011341503	,00065139779
	Lente -3 MN	- ,000231888140	,000135924900	,090	-,00050087952	,00003710324

\*. La diferencia de medias es significativa al nivel 0.05.

Tabla 20: Análisis detallado post-hoc DMS entre grupos refractivos en función de la estimulación con distancia o con lente negativa de -3 D.

## **ANEXO 2:**

DOCUMENTO 1: Hoja de ejemplo para la recogida de datos de los sujetos del estudio.

DOCUMENTO 2: Ejemplo de consentimiento informado que se proporcionaba a los sujetos del estudio.

DOCUMENTO 3: Modelo de horario para dar cita a los sujetos del estudio.

# DATOS SUJETOS

NOMBRE Y APELLIDOS:

EDAD:

EDAD DE APARICIÓN DE LA MIOPÍA:

ERROR REFRACTIVO:

- OD:
- OI:

1. VISIÓN LEJANA BINOCULAR
2. 1 metro BINOCULAR
3. 50 cm BINOCULAR.
4. 33 cm BINOCULAR.
5. 25 cm BINOCULAR.
6. 33 cm MONOCULAR.
7. MONOCULAR LENTE -3 D.
8. FILTRO DE BANGERTER.
9. ESTÍMULO BORROSO.
10. ESTÍMULO DE BAJO CONTRASTE.

# FORMULARIO DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Existen múltiples factores que influyen en la progresión de la miopía. Uno de estos es el trabajo continuado en visión próxima que implica al sistema acomodativo visual. Con el fin de investigar la relación existente entre el desarrollo de la miopía y la acomodación, hemos diseñado un estudio en el que mediremos las microfluctuaciones de la acomodación en estudiantes, los cuales desarrollan un trabajo continuado en visión próxima.

Para ello, nuestro protocolo de estudio incluye medidas no invasivas a través de diversos instrumentos o técnicas que nos permiten comparar ambos.

**Nombre y Apellidos**

**DNI**

Doy mi consentimiento a Sergio Martín Prieto con DNI para participar en dicho estudio sabiendo que:

1. Conozco todos los detalles del estudio y acepto realizar todas las pruebas.
2. Mis datos personales no serán usados con ningún fin.
3. Acepto la posibilidad de que los resultados puedan ser utilizados para posteriores publicaciones, sin que aparezca ningún dato personal.

**Terrassa, de**

**2011**

**Firma del sujeto**

MODELO DE HORARIO PACIENTES

HORA	LUNES	MARTES	MIERCOLES	JUEVES	VIERNES
10:00					
10:30					
11:00					
11:30					
12:00					
12:30					
13:00					
13:30					
15:00					
15:30					
16:00					
16:30					
17:00					
17:30					
18:00					
18:30					